



HAL
open science

Quel TCSP “ nouvelle génération ” pour les villes moyennes ? Veille sur l’exploitation innovante et efficiente des réseaux de transports collectifs

Manon Thuret

► **To cite this version:**

Manon Thuret. Quel TCSP “ nouvelle génération ” pour les villes moyennes ? Veille sur l’exploitation innovante et efficiente des réseaux de transports collectifs. Gestion et management. 2012. dumas-01320949

HAL Id: dumas-01320949

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01320949>

Submitted on 24 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Veille sur l'exploitation innovante et efficiente des réseaux de transports collectifs



Auteur : THURET Manon

Sous la direction de :

- THOMAS Gauthier, tuteur entreprise
- BONNEL Patrick, tuteur universitaire

Période de stage : du 16 avril au 28 septembre 2012

Mémoire soutenu le 11 septembre 2012, à Lyon

Fiche bibliographique

[Intitulé du diplôme] Master Professionnel Transports Urbains et Régionaux de Personnes (TURP)		
[Tutelles] - Université Lumière Lyon 2 - Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE)		
[Titre] Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?		
[Sous-titre] Veille sur l'exploitation innovante et efficiente des réseaux de transports collectifs		
[Auteur] THURET Manon		
[Membres du Jury (nom et affiliation)] THOMAS Gauthier, Chef de projet - Ingénieur Transport, SCE Lyon BONNEL Patrick, Enseignant-Chercheur - Responsable du Master TURP, LET-ENTPE DIAZ OLVERA Lourdes, LET-ENTPE		
[Nom et adresse du lieu du stage] SCE Lyon Parc Activillage 6, allée des Sorbiers 69 500 BRON		
[Résumé] <p>Les grandes agglomérations sont, pour la grande majorité des cas, déjà équipées d'un Transport en Commun à haut niveau de service. Quant aux villes moyennes, le problème est de trouver le financement nécessaire à de tels projets. La mise en place d'un transport collectif structurant dans une ville moyenne peut difficilement être aussi ambitieuse que dans une grande agglomération. Il apparaît donc nécessaire de trouver des pistes d'économie et d'élargir le champ de solutions qui est bien souvent orienté tramway/Bus à Haut Niveau de Service.</p> <p>L'étude vise à trouver des solutions en termes de transport collectif, à la fois plus accessibles et plus adaptées aux villes moyennes. La problématique est multidimensionnelle ; le périmètre étudié ici sera principalement le suivant : matériel roulant, aménagement, exploitation.</p> <p>Ce travail présentera des retours d'expérience de réseaux français et étrangers, des mesures de leurs performances, ainsi que des services innovants au profit des voyageurs. Enfin, il proposera une sélection de scénarios permettant de satisfaire les besoins des villes moyennes.</p>		
[Mots clés] Transport public, TCSP, villes moyennes, accessible, adapté, économie, matériel roulant, aménagement, exploitation, indicateurs, sociologie, information, billettique, scénarios, avantages, inconvénients, préconisations	Diffusion : - papier : [oui/ non]* - électronique : [oui/ non]* (* : Rayer la mention inutile)	Confidentiel jusqu'à : Fin août 2014
[Date de publication] Septembre 2012	[Nombre de pages] 101	[Bibliographie (nombre)] 72

Publication data form

[Entitled of Diploma]		
Master Degree Diploma in Urban and Regional Passenger Transport Studies		
[Supervision by authorities]		
<ul style="list-style-type: none"> - Université Lumière Lyon 2 - Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE) 		
[Title]		
What public transport with high level of service for the mid-sized cities?		
[Subtitle]		
Survey on innovative and efficient exploitation of public transport's networks		
[Author]		
THURET Manon		
[Members of the Jury (name and affiliation)]		
THOMAS Gauthier (SCE Lyon)		
BONNEL Patrick (LET-ENTPE)		
DIAZ OLVERA Lourdes (LET-ENTPE)		
[Place of training]		
SCE Lyon		
Parc Activillage		
6, allée des Sorbiers		
69 500 BRON		
[Summary]		
<p>Large cities are, for the great majority, already equipped with a public transport with high level of service. As for mid-sized cities, the problem is to find the financing necessary for such projects. The implementation of a public transport in a mid-sized city can't be also ambitious as in a large city. It seems necessary to find leads of economy and to widen the field of solutions which is very often tramway or bus with high level of service.</p> <p>The study aims to find solutions in terms of collective transport, at the same time more accessible and more adapted to mid-sized cities. The problem is multidimensional: here, the studied scope will be mainly the following one: rolling stock, insertion, operation.</p> <p>This work will present experience feedback of French and foreign networks, measures of their performances, and innovative services for the travelers. To finish, it will propose a selection of scenarios allowing to satisfy the needs of mid-sized cities.</p>		
[Key Words]	Distribution statement :	
Public transport, high level of service, mid-sized cities, accessible, adapted, economy, rolling stock, insertion, operation, indicators, sociology, information, ticketing, scenario, advantages, drawbacks, recommandations	<ul style="list-style-type: none"> - Paper : [yes/∅] * - Electronic : [yes/∅] * (* : Scratch the useless mention)	
	Declassification date :	
	August 2014	
[Publication date]	[Nb of pages]	[Bibliography]
September 2012	101	72

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux personnes suivantes qui ont contribué à me faire bénéficier d'une expérience extrêmement enrichissante par leur encadrement, conseils et sympathie.

Gauthier Thomas, mon tuteur, Chef de projet - Ingénieur Transport, pour m'avoir intégrée rapidement au sein du bureau d'études SCE, pour le temps qu'il m'a consacré. En dépit d'un emploi du temps chargé, il a su être à l'écoute et attentif, sachant répondre à toutes mes interrogations. Outre tout ce qu'il m'a apporté professionnellement de par son expérience, je tenais également à le remercier pour sa bonne humeur communicative !

Je remercie Pierre-Henri Deplanne, Responsable d'agence, de m'avoir acceptée comme stagiaire au sein de SCE Lyon, et de la confiance qu'il m'a accordé dès mon arrivée. Il m'a permis d'acquérir une pratique probante et déterminante pour mon avenir professionnel, je l'en remercie sincèrement.

Je remercie aussi Patrick Bonnel, mon professeur suiveur, pour l'aide et les conseils qu'il m'a apportés concernant la rédaction de ce mémoire.

Je remercie chaleureusement toutes les personnes que j'ai pu côtoyer durant ce stage. Je pense particulièrement à Gauthier, Simon, Yan et Ulence, pour m'avoir accueillie et « supportée » dans leur bureau, pour leur bonne humeur de tous les jours qui ont rendu mon travail, en plus d'être intéressant, très agréable. J'associe également à mes pensées Arnaud, Gérald, Jean-Philippe, Laurent, Nathalie, Nicolas, Ophélie, Raphaëlle, Robin, Stéphane, Vivien, pour leur écoute, leur présence professionnelle et amicale, et nos bons moments partagés.

Merci à toute l'équipe du Master 2 Transports Urbains et Régionaux de Personnes de l'Université Lyon 2 et de l'ENTPE, et particulièrement Joséphine Vial, pour leur encadrement et leur disponibilité.

Merci également à Lourdes Diaz Olvera, du Laboratoire d'Economie des Transports, pour le temps consacré à la lecture de ce mémoire et pour sa présence au sein du jury lors de la soutenance.

Je voudrais remercier par ailleurs Benoit Chauvin du GART et Laura Richard de Keolis Caen pour m'avoir accordé de leur temps et avoir répondu à mes questions.

Et enfin, je transmets encore une fois mes remerciements à tout le personnel de SCE Lyon et souhaite à SCE un développement mérité !

Sommaire

Remerciements	4
Sommaire	5
Introduction.....	7
I- Retours d'expériences de réseaux français et étrangers	13
1- Matériel roulant	13
2- Aménagement	25
3- Exploitation.....	35
II- Indicateurs de performance	45
1- Longueurs des lignes	45
2- Coûts moyens	46
3- Capacité	47
4- Vitesse commerciale	49
5- Rapport densité de population/mode/fréquentation	51
6- Fréquence.....	54
7- Fiabilité	55
8- Trafic automobile	56
9- Report modal/Gain de clientèle	57
10- Développement durable.....	58
III- L'émergence de nouveaux critères de choix.....	59
1- Sociologie	59
2- Information voyageurs	60
3- Billettique	62
4- Tramway voyageurs et marchandises	64
IV- Préconisations en fonction des différents types de ville	65
1- Rappel de quelques lois et normes techniques.....	65
2- Etudes des variantes systématiques avec analyse multicritère	69
Conclusion	77
Bibliographie.....	78
Table des matières	82
Table des figures.....	84
Table des tableaux.....	86
Table des annexes	87
Annexes	88

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Introduction

L'augmentation du prix du carburant, la congestion et le vieillissement de la population sont autant de facteurs qui encouragent l'usage des modes de déplacements collectifs.

On peut alors se demander : comment partager la rue et comment satisfaire les usagers de tous les modes de déplacements ? Mieux vaut-il des espaces spécialisés ou une coexistence des différents modes ? Mais chaque rue est un cas particulier qu'il faut étudier au cas par cas, en fonction de sa situation, son fonctionnement, ses contraintes financières, son contexte local (Certu (2009), *Le profil en travers, outil du pilotage des voiries urbaines-Une voirie pour tous*).

Ainsi, les bureaux d'études spécialisés dans les transports et l'aménagement du territoire tendent à trouver des solutions en termes de transports collectifs, à la fois plus adaptées et plus accessibles pour chaque typologie de ville. C'est notamment le cas du bureau d'études SCE qui est à l'origine du sujet de cette étude, à savoir trouver des transports en commun « nouvelle génération » pour les villes de demain.

Présentation de l'entreprise d'accueil SCE

Le groupe SCE est une structure internationale indépendante. Les sociétés du groupe SCE sont les suivantes :

- SCE, spécialisée dans l'aménagement et l'environnement,
- Créocéan, spécialisée dans l'environnement littoral et marin,
- Naomis, spécialisée dans les systèmes d'information,
- Groupe 8, spécialisée dans l'environnement littoral, le développement urbain, l'économie et les finances.

Leurs principaux clients sont les collectivités locales, territoriales, gouvernements, sociétés publiques et privées (aménageurs, industriels,...).

SCE est une société spécialisée dans le conseil, la conception et l'ingénierie en aménagement du territoire et gestion de l'environnement, depuis maintenant 30 ans. Son but est d'améliorer les conditions de vie de tous, en tenant compte des hommes et des territoires. Développement économique des villes et des territoires, respect de l'environnement, sont des préoccupations majeures pour SCE.

Onze agences sont réparties sur le territoire français, dont le siège situé à Nantes. L'agence de Lyon est structurée en différents pôles de compétences correspondants aux domaines d'activité suivants : Urbanisme, Mobilité/Déplacements, Environnement. Il s'agit donc d'une équipe pluridisciplinaire rassemblée autour de projets transversaux et de missions variées.

SCE considère les transports urbains collectifs comme des « moteurs du développement économique et social de nos villes ». Chacun des projets se soucie du respect de l'environnement, de la pertinence des solutions techniques, de l'efficacité économique et de l'acceptation sociale du projet. Le département Mobilité/Déplacements prend soin d'assurer la mobilité de chacun en intégrant l'ensemble des modes de déplacements. Il traite des problématiques de circulation, stationnement,

trafic, calibrage des voies, plan de déplacements urbains, choix des modes de transport, etc... (Plaquette de l'entreprise et site Internet <http://www.sce.fr>).

Contexte

Concernant le choix des modes de transport, les grandes agglomérations sont pour la grande majorité des cas déjà équipées d'un Transport en Commun en Site Propre (TCSP). Un Transport en Commun en Site Propre est « *un système de transport public utilisant majoritairement des emprises affectées à son exploitation* » (Certu (septembre 2009), Tramway et BHNS en France : domaines de pertinence en zone urbaine, *Revue Transports/Environnement/Circulation*, n°203). Quant aux réseaux de transport en commun des villes moyennes, ils atteignent bien souvent des stades de stagnation. La création de lignes fortes et structurantes se fait alors ressentir. Le problème est de trouver le financement nécessaire à de tels projets. La mise en place d'un TCSP dans une ville moyenne peut difficilement être aussi ambitieuse que dans une grande agglomération.

Les transports collectifs dans les villes moyennes représentent un enjeu de politique urbaine important : recherche d'une alternative à la voiture particulière, cohésion sociale, attractivité économique, qualité de vie, cohérence des actions menées en termes de stationnement, d'urbanisme,...

Or, du fait des moyens financiers limités des agglomérations de taille moyenne et du contexte fluctuant en termes de subventions, il apparaît nécessaire de trouver obligatoirement des pistes d'économie pour l'élaboration de lignes structurantes. La veille proposée dans ce mémoire permettra d'anticiper les besoins futurs.

Ce mémoire cherche bien à réaliser une veille sur l'exploitation innovante et efficiente des réseaux de transports collectifs, mais aussi et surtout à trouver le TCSP le plus adapté, en déclinant de multiples solutions possibles sous les appellations tramway et bus. Il s'agit donc d'élargir le champ de solutions en proposant tout un panel de services, tramway classique et BHNS compris, mais pas uniquement. Car en effet, même si la solution tramway paraît de moins en moins systématique, on observe peu d'évolutivité dans les options envisagées qui sont bien souvent orientées BHNS ou tramway.

Un panorama des TCSP en France figure en annexes comprenant des données sur l'équipement des agglomérations françaises en TCSP, les longueurs cumulées des infrastructures (tramway/BHNS) depuis 1974, le nombre de kilomètres mis en service chaque année, la part des modes dans les kilomètres parcourus et dans les voyages (cf annexe 1 pages 88-89).

Il est vrai que l'on voit apparaître clairement en France « l'idéal » du Tramway classique qui se veut avant tout très qualitatif et donc coûteux. Or les ressources des villes moyennes ne sont pas les mêmes que ceux des grandes agglomérations et il convient donc pour ces villes intermédiaires de rationaliser les investissements en Transports Collectifs. De plus, les projets sont bien souvent soumis à évaluation socio-économique ce qui exige de proposer un niveau de service rationnel.

Il s'agit donc de trouver le mode de transport en commun de demain, à la fois économique, écologique, avec une emprise au sol restreinte, tout en étant attractif. L'étude menée permettra d'envisager une nouvelle génération de TC, et précèdera des études de faisabilité. L'enjeu est aussi

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

de réfléchir à des solutions moins lourdes, plus innovantes, et ne plus se contenter des seules alternatives BHNS/tramway « à la française ».

A titre d'exemple et pour démontrer les différences de mentalité d'un pays à l'autre, les photos ci-dessous illustrent les différences de traitement d'un matériel roulant portant soit sur une logique fonctionnelle (Pays-Bas) soit sur la recherche esthétique/qualitative (Montpellier).



Figure a : Tramway de Rotterdam (2002)



Figure b : Tramway de Montpellier

Les tramways néerlandais ont comme priorité l'efficacité, contrairement aux tramways français qui se veulent avant tout originaux. Cette tendance française ne favorise pas les modèles de tramways « économiques », qui pourraient limiter fortement les coûts (Sophie Morhun-Master Génie Urbain-Université de Marne-la-Vallée, *La renaissance du tramway : L'émergence de nouvelles solutions techniques pour les besoins du transport urbain contemporain*).

Aussi, ci-dessous figurent quelques photos d'un tramway italien. Le concept est bien différent de celui que l'on aperçoit en France. En effet, leur tramway est certes moins « design », moins protégé de la circulation automobile, prend même des passagers hors station, mais la fréquentation est très bonne malgré tout.



Figure c : Tramway de Milan (Source : Pierre-Henri Deplanne)

Problématique

Ainsi, la problématique de cette étude sera la suivante :

Quel est le transport en commun adapté aux villes moyennes françaises, à la fois économique, écologique, avec une emprise au sol restreinte, tout en étant attractif ? Quelles sont les pistes d'économie pour la mise en œuvre de tels projets ?

Cette problématique se décline à travers les questions suivantes :

- Le matériel roulant, l'aménagement et le système d'exploitation peuvent-ils constituer des leviers d'économie ?
- Peut-on adapter, aux projets TC français, des systèmes de transport qui, bien que peu ou mal connus, sont tout à fait satisfaisants aux yeux du client comme de l'exploitant ?
- Peut-on trouver des alternatives aux tramways classiques et BHNS ?

Méthodologie

Une certaine méthodologie a été suivie afin de répondre à l'ensemble de ces interrogations. Voici ci-dessous une brève description des principales phases de l'étude :

- La démarche a tout d'abord consisté à faire un tour d'horizon de ce qui existe déjà en termes de transports collectifs. Le but était de déceler les types de matériels roulants/d'aménagements/d'exploitation/de services innovants possibles et adéquats en fonction des différentes villes. Cela a nécessité d'établir une bibliographie sur le sujet avec des retours d'expériences principalement qualitatifs.
- Street View a permis aussi de visualiser différents types d'aménagements et d'en calculer les longueurs de voie notamment.
- Ensuite, une boîte à outils a été réalisée. Il s'agit d'un tableur comprenant des données quantitatives, des ratios, des indicateurs mesurant la performance des systèmes proposés.
- Enfin, une dernière étape de synthèse a été mise en œuvre, récapitulant des chartes/normes d'aménagement, tous les scénarios envisageables, leurs avantages/inconvénients, ainsi que des préconisations.

Les sources de données mobilisées ont été les suivantes :

- Une bibliographie a été établie sur le sujet avec des retours d'expériences. Cette bibliographie s'appuie notamment sur des opérations réalisées par la société SCE. Les sites Internet des constructeurs, des agglomérations, ont été consultés également.
- Des professionnels (du GART, d'exploitant de réseau) ont été interrogés afin d'approfondir certaines thématiques.

Périmètre et plan de l'étude

Dans cette analyse, certaines dimensions seront privilégiées car il n'est pas possible (faute de temps, de moyens, de données,...) de toutes les traiter. Au regard de l'objectif visé, à savoir trouver un transport collectif structurant, accessible et adapté aux villes moyennes, certaines dimensions ont

été écartées. Le BRT, Bus Rapid Transit, a notamment été cité mais très peu analysé. Ce choix se justifie de la façon suivante : Le contexte européen est plus contraint (rues étroites, partage de la voirie,...) ; or le BRT exige des infrastructures réservées et lourdes. De plus, en Europe, l'objectif est plus orienté vers le confort que la capacité. Aussi, le téléphérique, malgré ses avantages qui lui sont propres (Brest inaugurer le sien en 2015), n'a pas été analysé dans ce mémoire. Il est en effet essentiellement préconisé dans les régions de montagne et touristiques. Ces deux exemples (auxquels pourraient s'ajouter le tramway-train, le choix des indicateurs) traduisent la volonté de ce mémoire à se focaliser sur les solutions de transport adaptées aux villes moyennes françaises, dont les données étaient accessibles.

Ainsi, ce mémoire se penchera tout d'abord sur des retours d'expériences de réseaux français et étrangers en termes de matériel roulant, aménagement et exploitation. Il attribuera ensuite aux différents scénarios des indicateurs de performance. Puis, il étudiera des services innovants au profit des voyageurs et exploitants, lesquels sont garants d'une qualité de service accrue. Enfin, il préconisera des scénarios « de bons rapports qualité/prix », adaptées aux villes moyennes françaises.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

I- Retours d'expériences de réseaux français et étrangers

Le champ des possibles va être étudié ici afin de pouvoir envisager par la suite les différentes pistes d'économie.

Il s'agira donc de connaître les appréciations qualitatives des systèmes selon diverses caractéristiques (matériel roulant, aménagement, exploitation).

1- Matériel roulant

Le matériel roulant est un des critères décisifs dans le choix d'un TCSP. Le tableau ci-dessous illustre le contenu de cette partie sur le matériel roulant, à savoir des retours d'expériences de différentes villes sur différents types de véhicules.

Tableau 1 : Plan de la partie I-1 (Réalisation : Manon THURET, 2012)

	Matériel roulant											
	Bus						Tramway					
	Standard	Articulé	Guidés	Trolleybus	BHNS	BRT	Sur fer classique	TFS	Métrique	Court	Low-cost	Sur pneu
Retours d'expériences des villes/pays suivants :	Belfort, Londres	Utrecht (Pays-Bas)	Rouen, Eindhoven (Pays-Bas), Essen & Mannheim (Allemagne)	Lyon	Nantes	Curitiba (Brésil), Bogota (Colombie)	Lyon	Grenoble, Paris	Suisse, Allemagne, St-Etienne	Avignon, Aubagne, Besançon	Genève	Caen, Nancy, Clermont-Ferrand

a- Bus

Bus standard

Le Président du Syndicat Mixte des Transports en Commun de Belfort, Christian Proust, défend son concept de développer les transports en commun par le bus. Cette méthode a été appliquée au Territoire-de-Belfort avec le réseau Optymo. Celui-ci s'est avéré être un réseau moderne, efficace, et en constante évolution.

Pour réussir à développer ce réseau, Christian Proust s'est tout d'abord efforcé de proposer une offre de transport simple. Aussi, il souligne l'importance de desservir 100% du territoire et déclare qu' « *il vaut mieux desservir moyennement l'ensemble des besoins que très bien un petit marché* ». Par là, il conteste la logique tramway au profit de la logique bus.

L'autobus a connu de nombreuses innovations au cours de ces dernières années. On peut citer par exemple :

- Son plancher bas qui le rend beaucoup plus accessible aux personnes à mobilité réduite,
- Ses systèmes de localisation tel le GPS,
- Ses systèmes d'informations en temps réel,
- Sa climatisation,

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

- Sa prise en compte de normes anti-pollution (<http://www.stif.info/les-transport-aujourd'hui/les-programmes--amelioration-qualite-service/information-voyageurs/68.html>).

Cependant, il reste un véhicule routier et est donc de ce fait soumis au code de la route : il est limité à une longueur de 24.5m et une largeur de 2.55m.

A titre d'exemple, le réseau londonien dispose de 5500 bus parcourant 344M km et desservant 17 000 arrêts. Un grand nombre d'entre eux circule 24 heures sur 24. Pour valoriser le bus, Londres met en œuvre plusieurs dispositions :

- Des couloirs réservés aux bus,
- Des détecteurs de bus aux feux. Cela permet de soit prolonger la durée du feu vert pour avantager le bus, soit raccourcir la durée du feu rouge, toujours en faveur du bus. Ce système s'applique déjà à 350 feux de signalisation,
- Des feux avancés pour les bus. Ces feux sont installés en tête d'un carrefour dans le but de maintenir à distance les automobilistes et ainsi dégager la voie d'arrêt de bus. Le bus peut alors traverser le carrefour sans encombrement.

Ainsi, ce sont environ 700 lignes de bus qui bénéficient de plus de 900 couloirs réservés et de 930 carrefours équipés de feux prioritaires (Les cahiers de l'institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Ile-de-France (2^{ème} trimestre 2000), *Les transports dans les grandes métropoles*, n°127).

Bus articulé

Ci-dessous figure un tableau comparatif entre le bus standard et le bus articulé.

Tableau 2 : Comparaison du bus standard et du bus articulé



	Autobus	
	standard	articulé
Nombre de caisses	1	2
Longueur	12.m	18.m
Largeur	2.50 à 2.55.m	
Hauteur	2.9.m	
Accélération	1 m/s ²	
Vitesse maximale	65 – 90.km/h	
Hauteur par rapport au sol	34.cm	
Traction	Thermique, gaz	
Durée de vie	10/15 ans	
Nombre de places total (4 p/m ²)	70, dont 40 assises	110, dont 50 assises
Nombre de places total (7 p/m ²)	90	170



Bus bi-articulé Van Hool AGG 300 à Utrecht (source : Certu)

Figure d : Bus bi-articulé à Utrecht (Source : Certu)

On s'aperçoit que les 2 systèmes sont relativement similaires, hormis la plus grande capacité du bus articulé.

Autobus guidés

Le guidage permet au bus d'être aidé lors de l'arrivée en station. Cela entraîne une distance constante entre le véhicule et le quai ainsi qu'une meilleure accessibilité aux personnes à mobilité réduite. Les véhicules peuvent tout aussi bien circuler en mode routier.

Il existe différents types de guidage immatériel :

- Le guidage magnétique : il s'agit d'un fil enterré dans le sol qui émet des ondes électromagnétiques détectées par le véhicule. Actuellement, seul un véhicule (Phileas) est testé aux Pays-Bas.
- Le guidage optique : il s'agit ici d'une caméra placée derrière le pare-brise qui lit sur la chaussée le marquage codé. Celui-ci matérialise la trajectoire imposée. Un ordinateur détecte la position du véhicule par rapport à la voie et transmet à la colonne de direction les corrections éventuelles. Le guidage assure la précision d'un accostage en station, notamment pour les personnes à mobilité réduite. Ce système est utilisé à Rouen depuis février 2001. Les retours d'expérience ne démontrent pas de problème technique particulier : seulement 4 pannes sur 1 500 000 accostements.

Les véhicules à guidage immatériel sont équipés de calculateurs embarqués déterminant la position du véhicule grâce à des aimants insérés dans la chaussée.

Les autobus guidés sont soumis au code de la route et de ce fait ne doivent donc pas dépasser 24,5m de long. Pour les agglomérations de taille moyenne qui ont besoin d'une capacité moindre, ce système représente une alternative intéressante au tramway, pour un coût inférieur (European Science Foundation (octobre 2011), *BHNS : Caractéristiques fondamentales et recommandations pour les décideurs et la recherche*).

Il existe seulement deux constructeurs sur le marché, que sont Irisbus avec le Civis à Rouen et APTS avec le Phileas à EinDhoven aux Pays-Bas.



Figure e : Civis à Rouen et Phileas à EinDhoven

Ci-dessous figure un tableau comparatif entre le Civis à guidage optique de Rouen et le Phileas à guidage magnétique d'EinDhoven.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Tableau 3 : Comparaison du Civis et du Phileas

DESCRIPTIF	Civis	Phileas	
		18 mètres	24 mètres
Traction	Thermique ou électrique	Thermique	
Type de guidage	Optique	Magnétique	
Nombre de caisses	2	2	3
Longueur	18,50.m	18.m	24.m
Largeur / Hauteur	2,55.m / 3,22.m	2,54.m / 3,12.m	
Monotrace	Non	Oui	
Durée de vie	20 ans	20 ans	
Nombre de places total (4 p/m ²) dont places assises	110 dont 30	90 dont 30	120 dont 40
Débit horaire sur la base d'une fréquence de 4 min par sens - à 4 p/m ²	1650	1350	1800

Le TEOR (Transport Est Ouest Rouennais) est un système de bus à haut niveau de service, guidé.

L'infrastructure est constituée de trois lignes d'une longueur totale de 39,4 km dont un tronçon commun de 3,9 km dans la partie centrale de la ville. Ce tronçon permet aux véhicules TEOR de se déplacer sur des voies en site réservé. Aux intersections, son arrivée est détectée en amont et la priorité lui est donnée aux feux. Ce type d'infrastructure permet d'atteindre des performances en termes de vitesse commerciale, régularité, fréquence de passage qui sont au moins équivalentes à celles d'un tramway.



Figure f : Bus guidé de Rouen

Le matériel roulant est constitué de véhicules articulés guidés. Le conducteur a, à tout moment, la possibilité de passer d'une conduite guidée à une conduite manuelle.

Le SAEIV (Système d'Aide à l'Exploitation et à l'Information Voyageurs) permet le contrôle et la régulation de l'ensemble des véhicules du réseau, ainsi que l'information aux voyageurs (Certu (2009), *Le profil en travers, outil du pilotage des voiries urbaines- Une voirie pour tous*).

Le TEOR est devenu le système de transport collectif le plus apprécié des habitants rouennais (cf tableau ci-dessous).

Tableau 4 : Enquête de satisfaction auprès des usagers du réseau de Rouen (Agglomération de Rouen, 2004)

	TEOR	METRO	BUS
Satisfaction globale	16,2	15,7	15,4

Une ligne de bus guidé a été mise en place à Douai. Il s'agit d'un véhicule Phileas, équipé d'un guidage innovant par plots magnétiques insérés dans la chaussée. Depuis sa mise en service, le système de guidage n'est pas opérationnel, le véhicule circule donc en tant que bus standard. Le guidage devrait pouvoir fonctionner d'ici 2 ans.

Trolleybus

Le trolleybus s'alimente en énergie électrique.

Son désavantage réside dans son système de captation de l'énergie qui se fait par ligne aérienne de contact fixe. Cela le rend moins flexible que l'autobus. Il nécessite donc davantage de circuler en voie protégée. Il est très utilisé dans l'agglomération lyonnaise. Il a une durée de vie supérieure (20 ans), par rapport à la durée de vie de 10/15 ans de l'autobus.

Cependant, pour contrer sa faiblesse et améliorer sa souplesse, les constructeurs ont développé des modèles « bi-traction » : électrique et diesel/électrique.

On peut également noter que les véhicules électriques présentent de meilleures capacités d'accélération en pente (Systra (novembre 2004), *Rio de Janeiro-Les systèmes possibles pour le projet de transport de moyenne capacité de Barra Da Tijuca*).

BHNS

Le matériel roulant peut être un élément constitutif d'un concept plus large comme le BHNS (Bus à Haut Niveau de Service) ou encore le BRT (Bus Rapid Transit).

Le Bus à Haut Niveau de Service peut être défini comme un système de transport en commun doté d'un matériel roulant de type bus, circulant sur des voies non-accessibles aux automobilistes, et disposant d'un caractère structurant au sein du réseau de transports collectifs. Il répond à trois principaux facteurs :

- Infrastructure spécifique (plateforme, stations...)
- Matériel roulant particulier
- Conditions d'exploitation spéciales (priorité aux carrefours, information voyageurs...)

En 2005, le CERTU en donne la définition suivante : « *les mêmes fréquence, régularité, amplitude et vitesse que le tramway ; confortable, accessible, attractif en termes de service, il est aussi flexible, pouvant s'adapter au contexte urbain : prioritaire sur les voitures au carrefour, il n'a donc besoin que d'un minimum de site propre* ».

Selon la RATP, « *le BHNS regroupe plusieurs notions* :

- *Un mode de transport rapide prioritaire sur la circulation automobile, qui bénéficie de voies de bus dédiées et en site propre sur plus de 70% du parcours,*
- *Un mode de transport bénéficiant de la même qualité de service qu'un tramway,*
- *Une fréquence de passage élevée avec horaire cadencé,*
- *Des bus bien identifiés de grande capacité aménagés comme des tramways* ».

Selon Nantes Métropole, les avantages du BHNS par rapport à un réseau de bus classique sont :

- *« un bus plus rapide au temps de parcours plus fiable grâce aux sites propres,*
- *Un bus plus fréquent, très régulier, qui autorise un faible temps d'attente,*
- *Des bus qui fonctionnent du matin au soir sur une large amplitude horaire,*
- *Une information en temps réel, des stations de type tramway et un matériel accessible aux personnes à mobilité réduite,*

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

- *Des véhicules haut de gamme plus grands et équipés comme des tramways : portes centrales, climatisation,... ».*

Ainsi, en Europe, des projets de bus de bien meilleure qualité se développent depuis plus de 15 ans : les BHNS. Les objectifs sont fiabilité, réseau structurant et qualité.

Le BusWay est construit en France en 2002 à Nantes : le BHNS est né. La détermination de « BusWay » est en fait une stratégie pour justifier le choix d'un bus à haut niveau de service plutôt qu'un tramway. Cela donne une image de nouvelle génération de transport en commun. Nantes développe également le réseau Chronobus : 10 lignes à haute qualité de service. Le but est de faciliter l'accès au centre de l'agglomération et les liaisons inter-quartiers. Les 4 premières lignes sont prévues pour octobre 2012. Ce sont des BHNS de par leur effort particulier à l'optimisation de la performance et de l'offre. Les Chronobus seront prioritaires aux voitures particulières. Plus de 100 000 clients sont attendus chaque jour sur ce nouveau réseau. Les gains de temps de parcours sont estimés jusqu'à 10 minutes par rapport aux trajets actuels. Les arrêts se feront en ligne ; les automobilistes resteront coincés derrière, et patienteront. Cela permettra des gains de temps car moins de manœuvre pour le bus, plus de sécurité voyageurs et de voie libérée pour le bus quand il redémarrera (<http://www.nantesmetropole.fr/decouverte/les-projets-phares/fiche-39677.kjsp>).

Les inconvénients du BHNS restent une emprise nécessaire conséquente, une énergie peu durable et le fait qu'il soit soumis au code de la route, ce qui le contraint à une largeur inférieure à 2,55m et une longueur inférieure à 24,5m dans le cas de bus bi-articulés et 18,5m dans le cas de bus articulés. Le confort d'un BHNS (accélération, amortisseurs,...) est équivalent à celui d'un bus standard et donc moins élevé que celui d'un tramway. Aussi, un réinvestissement est nécessaire (matériel roulant et plateforme) au bout de 15 ans (Annemasse agglomération, *Dossier de concertation-Concertation BHNS-Concertation Tramway*).

Le BHNS permet de hiérarchiser un réseau de bus existant, d'améliorer la lisibilité du réseau, d'obtenir un bon rapport investissements/résultats en termes de clientèle. Les BHNS peuvent être équipés de caméras ou capteurs permettant un guidage immatériel et ainsi un bon accostage aux stations ; leur flexibilité est meilleure que celle d'un tramway en cas d'incident sur le parcours ; leurs performances en termes de vitesse sont équivalentes à celles d'un tramway ; leur coût de revient et leur investissement initial sont plus faibles que ceux d'un tramway.

Le BHNS présente les avantages d'être plus souple, plus léger, moins coûteux que les modes lourds, avec un choix de fournisseurs très développé, des dépôts de bus bien souvent déjà existants, et d'offrir malgré tout une bonne qualité de service, satisfaisante aux yeux des usagers.

BRT (Bus Rapid Transit)

Le BRT est né dans la ville de Curitiba, au Brésil. Il a ensuite été beaucoup mis en œuvre en Amérique et en Australie, en y ajoutant des infrastructures réservées. L'objectif du BRT est d'atteindre une exploitation optimisée avec notamment des vitesses commerciales élevées.

En Europe, l'objectif est un peu moins ambitieux car les



Figure g : Bus tri-articulés en site propre de Curitiba (BRT)

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

infrastructures du BRT sont extrêmement lourdes et le contexte européen plus contraint (rues étroites, partage de la voirie,...). En Europe, l'objectif est plus orienté vers le confort que la capacité. On retrouve l'idée du BHNS citée ci-dessus.

Le BRT de Curitiba enregistre des résultats performants. En effet, on dénombre 340 lignes, 60 km de site propre.

Quant au réseau de BRT de Bogota, il constitue le réseau de bus le plus capacitair du monde.

Bus guidés par des galets entre bordures

Nous ouvrons ici une petite parenthèse avec ce bus guidé atypique. A Essen, en Allemagne, est exploité le système « O-Bahn ». Il a été lancé dans les années 1970. Il repose sur la mécanique suivante : le système de guidage est mécanique, les galets latéraux présents sur l'essieu avant permettent un guidage dans une infrastructure spécifique, entre 2 bordures. Ces bordures sont en fait des bandes de roulement en béton.



Figure i : Système de guidage "O-Bahn" (Source : <http://www.bhns.fr>)



Figure j : Infrastructure "O-Bahn" (Source : <http://www.bhns.fr>)

Essen a été la première ville à développer ce système, mis en service en 1980. On le trouve aujourd'hui à Mannheim sur une courte distance, à Leeds en Angleterre, sur une passerelle à Nagoya au Japon, à Adélaïde en Australie sur 11km.

A Mannheim, le « O-Bahn » est en tronc commun avec le tramway (voir photo ci-contre).

Ce système a l'avantage d'être malléable. En effet, à Essen, la largeur des bus était auparavant de 2,50m, elle est désormais de 2,55m. Le système de guidage par galets a pu s'adapter à cette nouvelle configuration (<http://www.bhns.fr>).



Figure h : Le "O-Bahn" à Mannheim, en tronc commun avec le tramway (Source : <http://www.bhns.fr>)

b- Tramway

Le tramway est un transport en commun circulant sur des voies ferrées équipées de rails plats ou sur pneus. Il est implanté en site propre (réservé) ou encastré dans la voirie routière.

Le tramway a les grands avantages d'avoir une image moderne et efficace, d'être silencieux, spacieux et fluide, accessible aux Personnes à Mobilité Réduite et poussettes ; son gain en clientèle s'avère plus élevé que pour un BHNS ; toutes sortes de revêtements de plateforme sont envisageables ; la longévité des infrastructures et du matériel roulant est plus importante que pour un BHNS (30 à 40 ans contre 15 à 20 ans) ; les subventions de l'Etat, des Conseils Généraux et des Régions sont plus élevées que pour un BHNS.

Les faibles capacités et vitesses commerciales des bus standards (en raison de leur difficile insertion dans le trafic automobile) ont mis en évidence leurs limites dans les zones urbaines denses. Le métro, quant à lui, représente un investissement très lourd. De plus, l'aménagement d'espaces sous-terrains n'est pas possible dans certaines villes (nappes phréatiques, vestiges archéologiques,...). C'est ainsi que le tramway est apparu comme le mode de transport « idéal » pour résoudre ces problèmes (Sophie Morhun-Master Génie Urbain-Université de Marne-la-Vallée, *La renaissance du tramway : L'émergence de nouvelles solutions techniques pour les besoins du transport urbain contemporain*).

On remarque alors une réorientation des réseaux bus au profit de lignes de tramway jusqu'aux années 2000. Ces derniers se montrent plus efficaces mais aussi beaucoup plus chers.

Ses principaux constructeurs sont Alstom, Bombardier, Siemens,...

Economiquement, il devient optimal sur des lignes de 10 à 15 km dans un environnement urbain dense.

Jean-Louis Fousseret, maire de Besançon, déclare : « *Le tramway n'est pas uniquement un mode de transport écologique, c'est un accélérateur du développement économique. Le tramway donne à la ville une certaine notoriété. Dans une ville étroite comme Besançon, il était difficile d'améliorer la vitesse commerciale des bus, d'où le projet de tramway* ».

Le design spécifique à chaque type de tramway entraîne un surcoût d'environ 1% sur la totalité des coûts du projet.

Tramway des années 1950

Ce tramway partageait sa voirie avec les autres véhicules. La technicité était faible. En effet, les rails étaient simplement posés au sol et noyés dans le revêtement de surface. De ce fait, le tramway était bruyant et provoquait des vibrations. L'alimentation électrique se faisait par fils aériens, ce qui avait pour conséquences un encombrement aérien important. Le design et le confort étaient quelconques (Agence métropolitaine de transport (janvier 2003), *Le nouveau tramway-Contribution à la réflexion en cours concernant un possible retour du tramway dans les rues de Montréal*).

Tramway sur fer classique

Il est doté de 2 rails, d'un guidage permanent, est électrique.

La longueur du véhicule s'étend de 20 à 60m et sa largeur de 2,20 à 2,65m. La pente maximale qu'il peut gravir est de l'ordre de 6-7%.

Le tramway Citadis de Lyon enregistre les caractéristiques suivantes : plancher bas intégral, bidirectionnel, 32m de longueur, électrique, chauffage-climatisation. Le mode « tramway fer » est conservé pour chaque extension de ligne de tramway.

Tramway français standard

Le TFS est un type de matériel roulant né en 1984 du constructeur Alstom. Il a été produit à 162 exemplaires, ce qui en a fait l’emblème du retour du tramway en France. Grenoble et Paris avaient opté pour ce modèle et les retours d’expérience étaient positifs. C’est ainsi que l’ensemble des villes françaises se sont peu à peu équipées de ce même modèle. Cependant, Strasbourg, en 1994, a marqué sa différence en choisissant une autre marque de tramway et en baissant ainsi considérablement la commercialisation de la première marque. La nouvelle gamme Citadis se répand alors dans les villes s’équipant de tramway. Celle-ci a l’avantage d’être moins chère et à plancher bas intégral.

Le TFS présente cependant de nombreuses qualités : design, performances, niveau sonore extrêmement faible.

Tramway métrique

Le tramway métrique existe depuis les années 1830. C’est un tramway classique ; seul l’espacement entre les deux roues change (1m contre 1,435m).

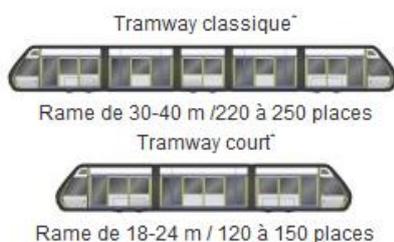
L’écartement des voies est différent d’un pays à un autre. Généralement, on rencontre l’écartement normal de 1,435m ou l’écartement métrique sur les anciens réseaux européens, et notamment en Suisse, en Allemagne, à Saint-Etienne. Très rarement, on rencontre l’écartement étroit de 0,9m comme à Lisbonne, à Linz, ou encore l’écartement large de 1,524m dans les pays de l’ex bloc soviétique et aux USA (Sophie Morhun-Master Génie Urbain-Université de Marne la Vallée, *La renaissance du tramway : L’émergence de nouvelles solutions techniques pour les besoins du transport urbain contemporain*).

Le matériel roulant d’un tramway métrique dispose de nombreux éléments permettant aux constructeurs de proposer des produits sensiblement moins chers que les tramways standards. En effet, le poids est près de 40% moins important. Cela entraîne la possibilité d’une plateforme plus mince et donc moins chère (SCE (août 2011), *Proposition d’implantation d’une ligne de tramway métrique transfrontalière à subventionnement européen*).

Des photos de tramways métriques figurent en annexes, avec les villes associées (cf annexe 2 page 90).

Tramway court

Le constructeur Alstom s’est attaché à créer un tramway court à destination des villes moyennes, de 50 000 à 100 000 habitants. Le Citadis Compact d’Alstom permet un coût d’investissement moindre et rapidement amorti grâce à sa capacité, sa consommation énergétique et sa durée de vie. Il présente aussi l’avantage d’être modulable et doté de portes doubles (<http://www.alstom.com/transport/fr/produits-et-services/materiel-roulant/tramway-citadis-compact/>).



Le développement du tramway court permet aux agglomérations de taille moyenne de diminuer leur coût d’investissement. Le matériel roulant peut ainsi s’adapter aux potentialités du réseau, sans risque de surcapacité. De plus, les rames peuvent être allongées en cas de nécessité.

Figure k : Tramway classique et tramway court

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

L'agglomération d'Avignon a opté pour ce tramway de petite taille (18-24m contre 30-40m habituellement). Ce type de tramway a été mis en place avec succès dans plusieurs villes européennes. Il serait l'un des premiers en France (<http://www.grandavignon.fr/travaux-et-projets/projets/un-embleme/un-tramway-adapte/>).

Aubagne a également choisi le tramway court (22m) pour sa ligne de 7km qui sera mise en place en 2014. Il est prévu pour commencer 8 rames de tramway, avec la possibilité d'ajouter 5 à 10 rames supplémentaires (http://www.mobilicites.com/fr_actualites_aubagne-choisi-un-tramway--compact-_0_77_1287.html).

Besançon, actuellement en phase de travaux pour une mise en service de son tramway prévue pour 2015, s'est aussi laissé séduire par le tramway court. Sa longueur sera de 23m, sa largeur de 2,40m offrant ainsi 132 places. Le tramway sera extensible à 230 places par rame, pourra atteindre une vitesse maximale de 70km/h et gravir des pentes de l'ordre de 8% (http://www.besancon.fr/gallery_files/site_1/1071/39067/tramway_supplement_gbm41.pdf).

Tramway low-cost

Le tramway low-cost est un tramway économique à gabarit réduit (court, métrique).

On peut se poser la question suivante : Un tramway économique à gabarit réduit peut-il être une bonne alternative au tramway classique et BHNS dans un contexte de réduction des coûts ?

Nous allons commencer par quelques éléments de comparaison entre le tramway classique et l'éco-tramway.

Tableau 5 : Eléments de comparaison tramway classique/éco-tramway (Source : L'éco-tramway : une alternative aux projets BHNS ? Proposition d'un modèle pour le territoire de Dunkerque – SCE)

Tramway standard	Eco-tram
Ecartement des rails : 1,435 m	Ecartement des rails : 1,000 m
Rayon de giration minimal : 25 m	Rayon de giration minimal : 12 m
Longueur supérieure à 25 m	Longueur inférieure à 25 m
Poids par essieu > 12,5 tonnes	Poids par essieu ≈ 7,5 tonnes
Largeur module : 2,55 m	Largeur module : 2,10 m
Largeur du couloir à double voie : 6,5m (hors station)	Largeur du couloir à double voie : 5,5m (hors station)
Nombre de lignes en fonctionnement en France : ≈ 50	Nombre de lignes en fonctionnement en France : 5

Nous allons maintenant comparer l'éco-tramway au BHNS articulé.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Tableau 6 : Eléments de comparaison BHNS articulé/éco-tramway (Source : L'éco-tramway : une alternative aux projets BHNS ? Proposition d'un modèle pour le territoire de Dunkerque-SCE)

BHNS articulé	Eco-tram
Rayon de braquage \approx 12m + porte à faux arrière	Rayon de traction minimal : 12 m
Largeur du couloir à double voie : 7,5 m (hors station)	Largeur du couloir à double voie : 5,5 m (hors station)
Prix du matériel roulant : 600 000€	Prix du matériel roulant : 2,2 M€
Nombre de voyageurs par heure / 2 sens (f=3 min, 4p/m ²) : 4500	Nombre de voyageurs par heure / 2 sens (f=3 min, 4p/m ²) : 6000
Durée de vie matériel : 15-25 ans	Durée de vie matériel : 30-40 ans
Emissions CO2 : 300g/voy/km	Emissions CO2 : 11g/voy/km
Prix d'implantation : 2 à 10 M€/km	Prix d'implantation : défi à relever !

Une plateforme d'éco-tramway est plus simple à mettre en place que celle d'un tramway standard. Les deux systèmes diffèrent de par l'épaisseur nécessaire pour supporter un trafic régulier sur les voies ferrées. En effet, l'épaisseur de l'ensemble des couches ne dépasse pas 60 cm pour les voies d'éco-tramway, celle des voies

de tramway classique dépasse bien souvent 80 cm.

L'éco-tramway a pour ambition de regrouper les avantages du BHNS (mise en place rapide, peu coûteuse...) tout en limitant ses points faibles (capacité restreinte, emprise au sol importante...).

Mais le tramway n'est pas le seul mode de transport pouvant convenir aux grandes villes et villes moyennes. Il existe d'autres solutions alternatives qui disposent des mêmes avantages technologiques, comme nous l'avons vu précédemment avec notamment la famille des bus. Certains véhicules de ce type se feront même appeler « tramway », uniquement pour profiter de l'effet mode de ce moyen de transport.

Tramway sur pneu

On distingue 2 grandes familles de tramway sur pneu :

- Le TVR (Transport sur Voie Réservée) de Bombardier sans le rail de guidage

Le TVR est un système entre l'autobus/trolleybus et le tramway. Sa silhouette est très proche de celle du tramway mais il a la particularité de pouvoir circuler sans rail.



Figure l : L'éco-tramway Tango de Stadler fabriqué par les Transports Publics Genevois



Figure m : Tramway sur pneu sans rail de guidage

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Par exemple, le TVR de la ville de Caen peut quitter son rail momentanément pour circuler en mode routier comme l'autobus.



Figure n : Le TVR de la ville de Caen (Source : Sophie Morhun, *La renaissance du tramway*)



Figure o : Passage du mode non-guidé au mode guidé du TVR (Source : Sophie Morhun, *La renaissance du tramway*)

L'entrée et la sortie en mode guidé doit se faire à l'arrêt.

Ils sont souvent appelés tramways sur pneu, mais plus précisément ce sont des Transports sur Voie Réservée.

En France, le TVR est assimilé à un véhicule routier et doit de ce fait respecter le code de la route. Ainsi, il ne peut dépasser une longueur de 24,5m.

Il est doté d'un rail, d'un guidage permanent, de pneumatiques, est électrique.

Ce système comporte des avantages par rapport à un tramway fer. En effet, son coût d'investissement est plus faible que celui d'un tramway fer classique car la plateforme demande moins de travaux. Aussi, le fait de circuler sur pneus lui permet de franchir des pentes plus raides pouvant aller jusqu'à 13% (seulement 6 ou 7% pour les tramways fer). Il offre également la possibilité de pouvoir assurer la maintenance dans les mêmes dépôts que ceux des bus.

Les premiers retours d'expérience des réseaux français de TVR actuellement en exploitation (notamment Nancy et Caen) ont montré des difficultés d'exploitation : nombreux déraillements ayant conduit à une vitesse commerciale de seulement 15km/h, et donc à l'abandon de la production par Bombardier ce qui rend difficile toute extension de ligne (Sophie Mohrun- Master Génie Urbain- Université de Marne la Vallée, *La renaissance du tramway : L'émergence de nouvelles solutions techniques pour les besoins du transport urbain contemporain*). La longue liste d'incidents est allée jusqu'à la perte du moteur électrique d'une rame sur la voie en juillet 2012. Le remplacement de ce tramway pneu par un fer a été voté en décembre 2011 et prévu pour 2016. Nancy envisagerait quant à elle un BHNS à guidage optique. Les mauvaises performances du tramway pneu de ces deux villes ont dissuadé toute autre ville d'acquiescer ce même système (http://www.ouest-france.fr/actu/actuLocale_-Caen.-Une-rame-de-tramway-perd-un-moteur-sur-la-voie_40780-2093437-----14118-aud_actu.Htm).

- Le Translohr avec guidage par rail

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Ce tramway, hormis le fait d'être monté sur pneu et non sur fer, conserve les mêmes caractéristiques qu'un tramway ordinaire : traction électrique, fonctionnement bidirectionnel, poste de conduite central et guidage par rail permanent.



Figure p : Tramway sur pneu avec guidage par rail (Source : Sophie Morhun, *La renaissance du tramway*)

Le fait de ressembler fortement au tramway fer classique et de posséder un plancher bas intégral à 25 cm du sol lui assure une mise en concurrence directe avec le tramway fer. Cependant, ce modèle est plus récent et de ce fait manque encore de retours d'expérience.

Plusieurs villes à travers le monde ont opté pour ce tramway sur pneu : L'Aquila, Padoue, Venise (Italie), Sankai (Japon), Clermont-Ferrand.

Il existe seulement 2 constructeurs sur le marché : Lohr avec le Translohr, et Bombardier avec le TVR. L'environnement concurrentiel est donc fortement limité.

Ci-dessous figure un tableau comparatif entre le TVR et le Translohr.

Tableau 7 : Comparaison du TVR et du Translohr

DESCRIPTIF	TVR	Translohr	
		STE 3	STE 4
Traction	Bi-mode	Électrique	
Type de guidage	Rail central	Rail central	
Débrayabilité	Oui	Non	
Bidirectionnalité	Non	Oui	
Réglementation	Routière	Ferroviaire	
Nombre de caisses	3	3	4
Longueur	24,5 m	25 m	32 m
Largeur / Hauteur	2,50 m / 3,22 m	2,20 m / 2,89 m	

Durée de vie	30 ans	30 ans	
Nombre de places total (4 p/m ²) dont places assises	150 dont 50	120 dont 30	160 Dont 40
Nombre de places total (6 p/m ²)	200	160	210
Débit horaire sur la base d'une fréquence de 4 minutes (par sens) - à 4 p/m ²	2250	1800	2400

Ces deux familles de tramway sur pneu présentent des possibilités de revêtement de plateforme moins diversifiées que celles d'un tramway ferroviaire. Elles nécessitent des bandes de roulement en béton pour éviter tout problème d'orniérage.

2- Aménagement

L'aménagement est un des critères décisifs dans le choix d'un TCSP. Le tableau ci-dessous illustre le contenu de cette partie sur l'aménagement, à savoir des retours d'expériences de différentes villes sur différents types de sites.

Tableau 8 : Plan de la partie I-2 (Réalisation : Manon THURET, 2012)

	Aménagement					
	Site propre	Site mixte	Site banalisé	Voie unique	Couloirs bus	Insertion
Retours d'expériences des villes /pays suivants :	Sao Paulo, Bruxelles, Rouen, Paris, Bordeaux	Allemagne, Suisse, Bruxelles	Nantes, Bordeaux, Berne (Suisse)	Amsterdam, Allemagne, Pays-Bas, Croydon (Angleterre)	Paris, Manchester	Valenciennes, Grenoble, Bordeaux, Lyon, Barcelone

Les voies de transport collectif peuvent s'insérer sur 3 types de sites :

- Le site propre intégral,
- Le site mixte, correspondant à des voies situées sur la chaussée, réservées à plusieurs TC,
- Le site banalisé, correspondant à des voies posées sur la chaussée et utilisées par la circulation générale.

a- Site propre

Le site propre est une emprise publique exclusivement réservée aux véhicules de transport en commun auxquels il est dédié. Seuls les véhicules de secours d'urgence et de police en intervention sont autorisés à l'utiliser.

L'efficacité de ce type d'aménagement dépend fortement de la priorité accordée au TC aux carrefours. Elle dépend aussi de la « franchissabilité » de la plateforme. En effet, on remarque qu'au-delà de 8/10 cm, le respect de la plateforme TC par les automobilistes est plutôt bon. Aussi, le type de revêtement peut être un outil dissuasif. Par exemple, le revêtement de type gazon est certes dissuasif pour les voitures mais n'est par la même occasion plus accessible aux modes doux (D.Bertrand-Certu, *Partage de l'espace public et transport collectif à haut niveau de service-Espace public et prise en compte des différents usagers dans les aménagements*).

Au niveau des retours d'expériences, il existe une centaine de km de voies réservées aux autobus à Sao Paulo. Ces voies nécessitent un contrôle permanent car elles ne sont pas séparées du reste de la circulation.

Avenue de la Couronne à Bruxelles, sur une section de 560m, avant l'aménagement d'une voie réservée, les bus rencontraient de fortes variations de temps de parcours selon les heures de la journée. Les temps de parcours pouvaient aller jusqu'à 10 minutes aux périodes de pointe, soit une vitesse commerciale de l'ordre de 3 à 4 km/h.

Après l'aménagement de la voie réservée en septembre 2005, les temps de parcours ont été divisés par 3 ou 4 et sont devenus

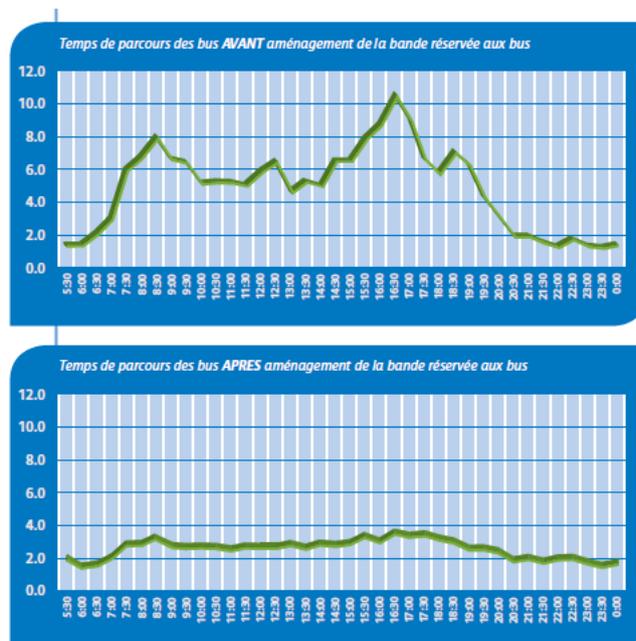


Figure q : Temps de parcours avec et sans bande réservée aux bus, à Bruxelles (Source : Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles, *Tramway, Bus : Manuel des bonnes pratiques pour un réseau performant*)

quasiment identiques tout au long de la journée.

Ce tramway circule sur un site surélevé de quelques centimètres pour le protéger de la circulation automobile. Malgré les bordures délimitant ce site, les automobilistes ne respectent pas cet espace protégé (cf photo ci-contre). Les temps de parcours ont donc encore une marge de progression.



Figure r : Non-respect du site réservé au tramway (Source : Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles, Tramway, bus : Manuel des bonnes pratiques pour un réseau performant)

Le TEOR de Rouen est également en site propre. La longueur est de 25,6 km dont 12 km en site propre. L'amplitude de service est identique à celle du tramway, soit de 5h à 23h.

Les bus articulés du Trans Val de Marne au sud de Paris profitent d'un site propre bus. La longueur du parcours est de 12,5km dont 95% soit 11,6km en site propre protégé. L'amplitude s'étend de 5h20 à 0h59 (Systra (juin 2005), *Coût d'investissement et d'exploitation des TCSP et retours d'expériences sur les bus en site propre*).

On peut nuancer la notion de « site propre » et parler de TCSP « light ». Il s'agirait de zones non pas totalement réservées mais malgré tout apaisées.

On peut également trouver un dérivé du site propre, à savoir le site protégé, comme à Bordeaux. La hauteur de la bordure séparatrice entre la plateforme du tramway et la chaussée est réduite à 6 cm. Cet aménagement permet aux automobilistes d'emprunter exceptionnellement la plateforme du TCSP, par exemple pour effectuer le dépassement d'une voiture en

panne ou lors du passage d'une ambulance.

A Aix-en-Provence, même aux heures de pointe et malgré les embouteillages, le site propre est accessible mais respecté par les automobilistes (cf photo ci-contre).



Figure s : Respect du site réservé au bus (Source : http://www.bhns.fr/IMG/pdf/SitePropre_Aix_VF.pdf)

b- Site partiel/partagé/mixte

Ce système repose sur l'idée que le site propre soit utilisé par plusieurs lignes de TC. Cela peut en effet permettre de rentabiliser l'investissement. Cette option présente aussi les avantages d'optimiser les espaces, d'augmenter la performance de l'ensemble du réseau puisque les lignes de bus classiques profitent également du site propre du tramway/BHNS. L'avantage est aussi que les stations peuvent être partagées (stations bus/tramway).

Les sites mixtes nécessitent une voie plus large qu'une voie de tramway normale. En effet, une largeur de 7m est recommandée par le CERTU. Pour comparaison, le site propre a une emprise de 6m. Le site mixte impose donc la suppression d'une voie de circulation. Cela aura un impact négatif sur la vitesse des automobilistes en faveur de celle des transports collectifs. En site mixte, la priorité doit être donnée aux tramways et non aux bus.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Ainsi, la mixité tramway/bus sur un site propre est recommandée lorsque :

- Le nombre de bus n'est pas trop important ($\leq 20/h$) pour éviter au maximum de perturber le tramway,
- Le gain de temps pour les bus est significatif,
- Elle permet de faciliter les correspondances tramway/bus.

La grande majorité des réseaux tramway allemands et suisses ont beaucoup de sites mixtes/banalisés tout en étant cadencés. A l'inverse, en France, la plupart des réseaux sont en site propre et non cadencés (Inputs TTK (janvier 2012), *Rapport tramway Avignon-Etudes préliminaires*).

Le site partagé tramway/bus de Bruxelles est protégé de la circulation automobile par des « écluses » à bus, dont les dimensions permettent uniquement l'insertion de bus dans l'écartement des voies de tramway.



Figure t : Site partagé tramway/bus (Source : Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles, *Tramway, bus : Manuel des bonnes pratiques pour un réseau performant*)

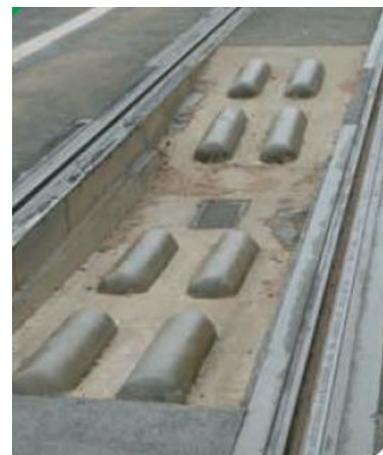


Figure u : Ecluse (Source : STIB)

c- Site banalisé



Figure v : Rue du Poitou, Nantes - Tramway en site banalisé (Source : Street-View)



Figure w : Avenue Emile Counord, Bordeaux - Tramway en site banalisé (Source : Street View)

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Le TCSP partage ici sa plateforme avec les automobilistes.

La Rue du Poitou ne disposait que de 14 m entre les 2 façades, d'où le concept de stations banalisées à quais trottoirs, les trottoirs servant de quais. Avec cet aménagement, le trafic a diminué. En effet, 15 000 véhicules par jour circulaient sur cet axe auparavant, ce sont environ 6 000 véhicules par jour qui circulent sur cet axe dorénavant.

Le tramway n'est plus sur une voie réservée mais conserve sa priorité grâce à la présence de feux de rétention de la circulation en amont. La circulation du tramway en site banalisé fonctionne de manière satisfaisante lorsque celui-ci bénéficie de cette priorité aux carrefours et lorsque des mesures sont mises en œuvre pour limiter la circulation automobile. Ces conditions permettent de mutualiser les voies de circulation et de gagner de l'espace. Cependant, les vitesses commerciales peuvent de ce fait être dégradées.



Figure x : Tramway de Berne en site banalisé

Pour une exploitation satisfaisante du tramway en site mixte/banalisé, il est nécessaire de réduire sensiblement le trafic automobile au seul accès local (par exemple fermetures ponctuelles pour casser le transit, sens interdits...). Lorsque le trafic ne peut être réduit, il est dans ce cas préférable de choisir un autre itinéraire.

Dans les secteurs très contraints en termes d'insertion, le tramway peut être réalisé en site banalisé (Inputs TTK (janvier 2012), *Rapport Tramway Avignon-Etudes préliminaires*).



Figure y : Tramway de Montpellier en voie unique

d- Voie unique

La voie unique repose sur le principe que les véhicules circulent dans les deux sens sur une même voie. Cela nécessite des voies d'évitement pour que 2 véhicules puissent se croiser occasionnellement. Celles-ci sont souvent situées au niveau des stations avec une emprise de 10 à 11m de long.

Ses avantages sont des économies réalisées en matière d'infrastructure et une surface au sol diminuée. Cette solution impacte peu la circulation automobile, ce qui génère une bonne cohabitation tramway/Voiture Particulière (VP).

En revanche, l'exploitation est beaucoup moins souple (horaires, cadencements,...).

En Allemagne, la loi BOstrab préconise la mise en place de voie double. La mise en place d'une voie unique doit faire l'objet d'une autorisation. Celle-ci n'est donc mise en œuvre

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

que lors de cas particuliers. La justification est la suivante : une exploitation stable à long terme est plus importante que des économies de coût à court terme.

Aussi, des sections à voie unique ne devraient pas être mises en place sur 2 extrémités périurbaines d'une même ligne car cela risque de multiplier les contraintes de graphiques et d'entraîner une moindre robustesse en termes d'exploitation.

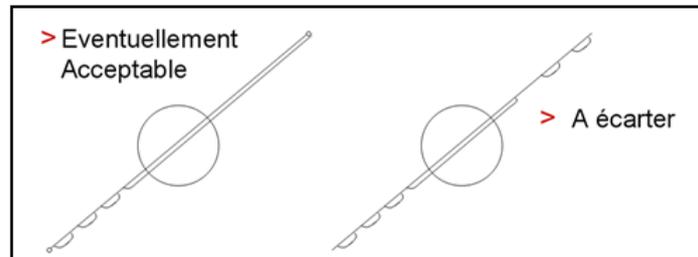


Figure z : Voie unique/Voie double (Source : Inputs TTK (janvier 2012), Rapport Tramway Avignon-Etudes préliminaires)

Si les voies uniques sont rares en France, elles sont très répandues dans d'autres pays européens, et notamment en Allemagne et aux Pays-Bas. Cela se justifie par des raisons d'économies en coûts d'investissements ou encore par des raisons de largeur disponible de la chaussée.

A Amsterdam, les conducteurs circulent « à vue ». En effet, les tronçons en voie unique sont relativement courts et ainsi, si la voie est libre, le tramway s'engage.

A Croydon, les sections en voie unique sont un peu plus longues. Les entrées de voie sont alors protégées par des feux. Les tramways sur le tronçon en voie unique sont signalés par des boucles de détection et les feux restent au rouge jusqu'à la libération du tronçon.

Les stations de croisement (cf photo ci-contre) permettent aux rames de se croiser et donc de réguler l'exploitation.

Des photos de tramways en voie unique figurent en annexes, avec les villes associées (cf annexe 3 page 91).

e- Couloirs bus

Dans ce mémoire, on appellera « couloir bus » une voie réservée aux bus mais qui l'est de façon moins continue qu'un site propre.

Lorsqu'un couloir réservé est simplement séparé de la circulation générale par un marquage au sol, l'expérience montre que les infractions sont nombreuses.

A Paris, l'une des préoccupations majeures des élus est le respect des couloirs bus. Ainsi, une caméra vidéo filme les voies de bus et



Figure aa : Voie d'évitement en station à Valenciennes (Source : <http://www.siturv.fr>)



Figure bb : Couloir de bus de Paris

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

flashe tout véhicule stationnant ou circulant sur les voies réservées. Aussi, les bus sont parfois équipés d'appareils photos numériques à déclenchement automatique, piégeant ainsi les véhicules en situation irrégulière (<http://www.caradisiac.com/Apres-le-peripherique-Paris-s-attaque-aux-couloirs-de-bus-49041.htm>).

En effet, ces couloirs étaient fréquemment occupés par des stationnements illégaux. Les places réservées aux livraisons étaient bien souvent utilisées par des stationnements irréguliers d'automobilistes. Les autobus étaient alors contraints de quitter leur couloir (<http://bus38.online.fr/couloirs.html>).

Les couloirs d'approche aux feux permettent quasiment de s'assurer qu'un bus s'insérant dans un tel couloir passera systématiquement dès que le feu sera vert.

Le concept de QBC, Quality Bus Corridors, en français « couloirs de qualité pour bus » a été développé en 2002 à Manchester. Ce projet a connu un grand succès puisqu'aujourd'hui, c'est un cinquième des clients du réseau qui circulent sur l'une des 24 lignes QBC.

f- Insertion

Le tramway présente de meilleures capacités d'insertion en ligne droite grâce à des matériels roulants pouvant avoir une faible largeur (jusqu'à 2,20 m). Les bus ont en effet des largeurs plus grandes se situant entre 2,50 et 2,55 m. A cette dernière dimension s'ajoutent celles des rétroviseurs (0,25 m de part et d'autre du bus).

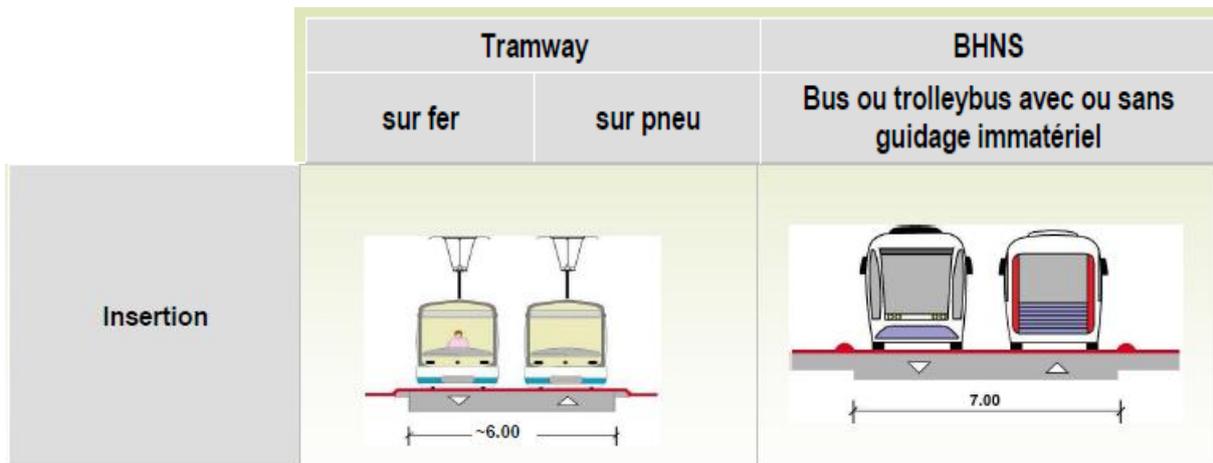


Figure cc : Insertion tramway/BHNS (Source : Cours Master TURP 2011-Egis)

Pour des raisons de sécurité, la largeur d'une plateforme de BHNS (7 m) est plus importante que celle d'un tramway (6 m).

En surface, l'insertion peut se faire de trois façons différentes : bilatérale, latérale et axiale.



Figure dd : 3 types d'insertion

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

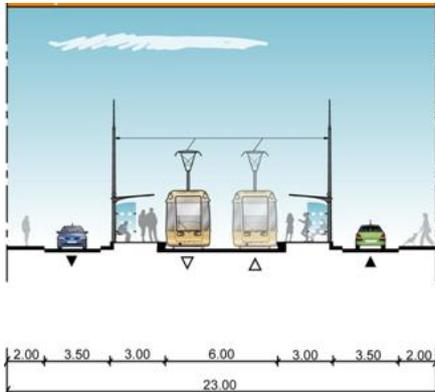
L'insertion latérale peut entraîner des problèmes d'accessibilité pour les commerces et riverains situés côté site propre. L'insertion axiale présente de nombreux avantages :

- Moins de problèmes de circulation avec les rues débouchant sur la voie empruntée par le site propre,
- N'affecte pas les activités quotidiennes (nettoyage, ordures ménagères, livraisons...),
- Ne pénalise pas les entrées et sorties de garage,
- Le stationnement reste au contact de l'habitat et des activités.

Cette structure présente cependant quelques inconvénients :

- Nécessité d'une rue large puisque les quais en station s'additionnent aux trottoirs,
- Les usagers du TCSP attendent dans un environnement routier.

En site central, les stations peuvent être à quais latéraux.



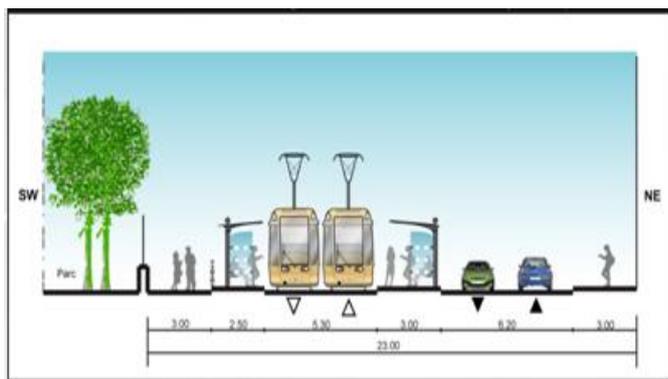
Ce type d'insertion a les avantages de :

- Séparer le système de TCSP des autres systèmes,
- Permettre la traversée de la rue en deux fois.

L'inconvénient est que cela nécessite une emprise de 12 m environ.

Figure ee : Quais latéraux en site central (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail)

En site latéral, les stations peuvent être à quais latéraux.



Ainsi, plusieurs avantages se présentent :

- Un des quais peut être aménagé sur un trottoir,
- La station peut être positionnée sur un élargissement de place ou autre.

L'inconvénient reste le problème d'accessibilité pour les commerces et les riverains.

Figure ff : Quais latéraux en site latéral (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail)

Les quais peuvent être latéraux ou axiaux, ce qui a des conséquences sur la surface d'emprise au sol.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

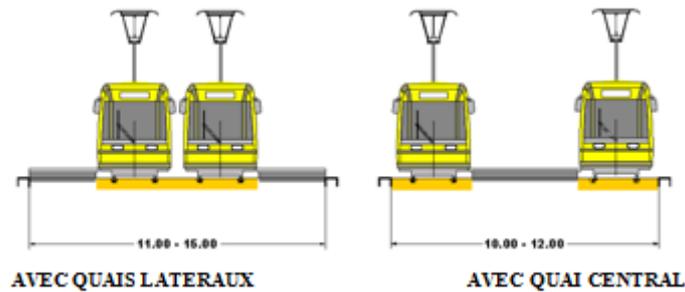


Figure gg : Largeur d'emprise en fonction des types de quais

En effet, celle-ci peut se situer entre 10 et 12m dans le cas d'une station à quai central, entre 11 et 15m dans le cas de quais latéraux.

Les stations à quai central (cf photo ci-contre) ont aussi leurs caractéristiques.

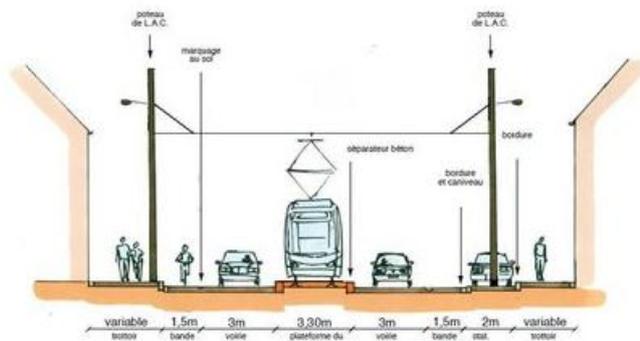
Son principal avantage est son gain de place par rapport à une station à quais latéraux : 1 à 2 m.

Son inconvénient principal réside dans les problèmes de sécurité par manque de protection entre le TCSP et la voirie.



Figure hh : Station à quai central

La voie unique du tramway de l'agglomération de Valenciennes est implantée dans l'axe central et est limitée à une largeur de 3,30 m (cf schéma ci-contre).



Le tableau ci-dessous énumère différentes facilités d'insertion pour les systèmes proposés :

Figure ii : Implantation de la voie tramway (Source : <http://www.siturv.fr>)

Tableau 9 : Caractéristiques d'insertion des différents systèmes

Facilité d'insertion	Bus et Trolleybus	Phileas	Civis	TVR	Translohr	Tramway
En alignement droit	-	-	-	+	+++	++(+)
En courbe	+	+	+	++	+++	+
En pente	+++	+++	+++	+++	+++	+

En règle générale, on distingue deux extrêmes en termes d'insertion urbaine (cf photos ci-après).

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?



Figure jj : Insertions urbaines

L'insertion d'un transport en commun en site propre (TCSP) a également un fort enjeu lié à l'urbanisme, comme l'illustrent les photos ci-dessous.



Figure kk : Insertion urbaine à Barcelone (Source : Busways and Light Rail/Modern Tramways-Can they be compared ? by Carmen Hass Klau)

Lyon connaît une insertion originale : une affectation variable d'un site propre TC. La Montée des Soldats est une voirie de 900 m au nord de la ville de Lyon qui relie Caluire et Rillieux-la-Pape au centre ville. Cet axe est très fréquenté par les automobilistes : il écoule un trafic par sens de l'ordre de 19 000 véhicules/jour avec des pointes le matin dans le sens descendant et le soir dans le sens inverse.



Figure II : Affectation variable d'un site propre à Lyon (Source : Street View)

Cet axe était initialement aménagé en 2x2 voies. De nombreux accidents survenaient la nuit à cause de vitesses excessives. Pour réduire ces risques d'accident, le conseil général du Rhône a alors réduit l'axe à une unique voie par sens. Les résultats se sont avérés très satisfaisants, tant au niveau de la

sécurité des usagers qu’au niveau de l’écoulement du trafic. Le Sytral a alors profité de l’espace libéré par la suppression des 2 voies de circulation pour aménager un site réservé aux bus (cf photos ci-dessus et ci-contre).



Figure mm : Entrée du site propre bus protégée par une barrière (Source : Street View)

L’emprise ne permettait toutefois pas de réaliser

un site bidirectionnel axial. Un site unidirectionnel réversible a donc été mis en place : les bus circulent de 5h00 à 13h00 dans le sens descendant et de 14h00 à minuit dans le sens inverse.

L’utilisation variable dans le temps d’une voie a permis un partage optimisé de l’espace (Certu (2009), *Le profil en travers, outil du pilotage des voiries urbaines-Une voirie pour tous*).

3- Exploitation

L’exploitation envisagée est un des critères décisifs dans le choix d’un TCSP et revêt plusieurs items. Le tableau ci-dessous illustre le contenu de cette partie sur l’exploitation, à savoir des retours d’expériences de différentes villes sur différents types d’exploitation.

Tableau 10 : Plan de la partie I-3 (Réalisation : Manon THURET, 2012)

	Exploitation		
	SLT	Stations	Restructuration
Retours d’expériences des villes /pays suivants :	Bruxelles, Suisse, Nancy, Dunkerque, Grenoble, Nantes	Saint-Etienne, Paris, Gothenburg (Suède), Sao Paulo	Lyon

a- SLT (Signalisation Lumineuse Tricolore)

Les carrefours peuvent être de trois sortes : à feux, sans feux, giratoires.

Les carrefours à feux

Ils ont l’avantage de réguler les flux, de permettre une certaine adaptabilité et sécurisation. De plus, la mise en place de ce type de système ne nécessite pas de lourds travaux d’infrastructure. Aussi, ce type d’aménagement offre des temps de passage consacrés aux piétons.

Il existe aussi des inconvénients, comme par exemple le fait que « tout soit au rouge » lorsque le TC passe, alors que certains mouvements pourraient être compatibles avec le TC. L’attente peut parfois paraître longue aux autres usagers et peut entraîner des comportements frauduleux et dangereux. Le non-respect des carrefours à feux a en général des conséquences bien plus graves que dans un giratoire. Pour contrer cela, les véhicules réguliers de TC gérés au moyen de signaux R17 et R18 peuvent être dotés de détections permettant de s’assurer qu’ils ont dégagé la zone. La phase

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

suivante peut alors être engagée (D.Bertrand-Certu, *Partage de l'espace public et transports collectifs à haut niveau de service-Les transports collectifs et les carrefours*).

Ci-dessous figurent deux schémas représentant des systèmes de priorité bus aux carrefours. Ces systèmes sont bénéfiques à la fois pour l'utilisateur TC qui verra une amélioration de son temps de parcours et de la régularité, mais aussi pour l'exploitant qui connaîtra des économies d'exploitation et une maîtrise des temps d'exploitation.

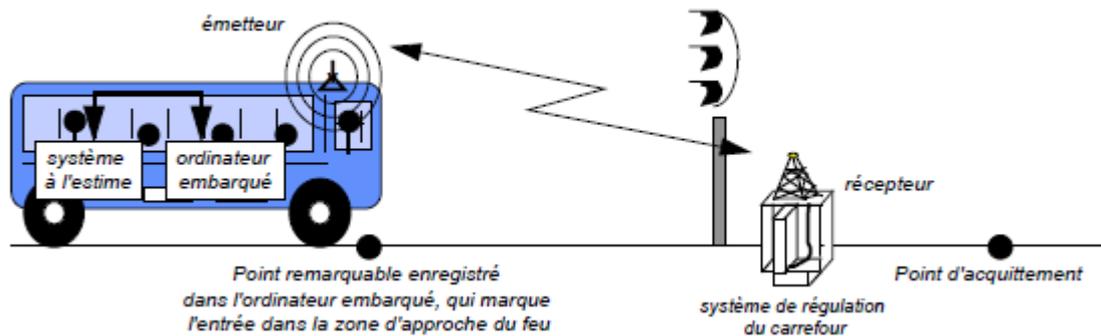


Figure nn : Représentation d'un système de priorité bus à un carrefour avec une grande partie des équipements intégrée au bus (Source : STIF (juin 2001), Guide technique des systèmes de priorité bus aux carrefours à feux)

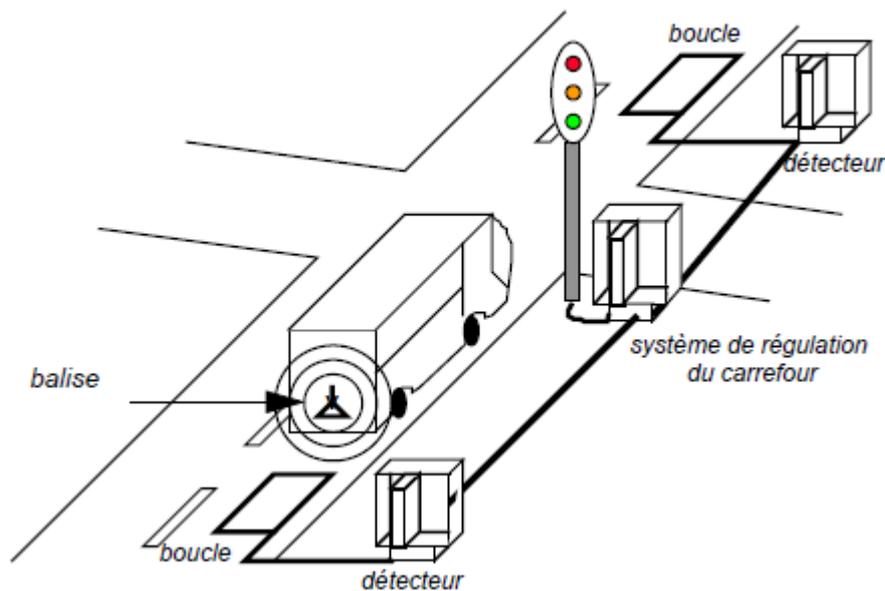


Figure oo : Représentation d'un système de priorité bus à un carrefour avec une grande partie des équipements intégrée aux infrastructures routières (Source : STIF (juin 2001), Guide technique des systèmes de priorité bus aux carrefours à feux)

Ci-dessous figure une comparaison des technologies de détection :

Tableau 11 : Comparaison des technologies de détection (Source : Egis Mobilité)

	Type d'information délivrée	Limites	Retour d'expérience	Coût (investissement + déploiement)	Performances	Complexité	Implication de l'exploitant
1 - Radar hyper fréquence	<ul style="list-style-type: none"> Information de présence 1 code ligne ou trajectoire transmis (possibilité d'en distinguer 3) 	Limites dues au nombre de codes associés et au fait que le véhicule n'est pas localisé. Système modifiable et adaptable	Technologie éprouvée, en perte de vitesse à l'heure actuelle	100	⊖	⊖	⊖
2 - Boucle active	<ul style="list-style-type: none"> Information de localisation 16 codes lignes et/ou trajectoires transmis 	Limites dues au nombre de boucles implantées (en général 3 maximum). Le véhicule est localisé lorsqu'il passe sur la boucle. Système relativement figé par le positionnement des boucles	Technologie éprouvée. Nombreux retours d'expérience	160	⊕ ⊕	⊕	⊕
3 - GPS + liaison radio	<ul style="list-style-type: none"> Information de localisation 128 code lignes et/ou trajectoires transmis 	Position du véhicule envoyée toutes les 3 à 5 secondes. La localisation est assurée par GPS et odomètre. Système modifiable, et qui doit être adapté régulièrement par l'exploitant	Technologie récente. Peu de retour d'expérience	180	⊕ ⊕ ⊕	⊕ ⊕	⊕ ⊕

On définit un système de priorité bus aux carrefours à feux comme un « ensemble coordonné d'actions tendant à favoriser les véhicules de transport en commun par rapport aux véhicules particuliers dans le franchissement de carrefours à feux ». Ce système a deux objectifs principaux, que sont la diminution du temps de parcours et l'amélioration de la régularité.

Les différents réseaux ayant mis en œuvre cette méthode ont constaté d'une manière générale une diminution des dépenses d'exploitation et des moyens de production, ainsi qu'une augmentation des recettes commerciales. En effet, plusieurs réseaux de transport ont adopté ce système, voici les gains observés :

- Nancy → système de priorité bus basé sur la communication entre le SAE et le PC trafic depuis 1982 :
 - 4% et 5% de réduction de temps de parcours respectivement sur les lignes 3 et 6,
 - Environ 63% et 29% de diminution du retard moyen respectivement sur les lignes 3 et 6,
 - 15,3% de gain de productivité en kilomètres annuels parcourus par conducteur,
 - 5,8% de gain de temps de parcours global, qui peut se traduire par une réduction de 3 trolleybus et 7 autobus.
 Aussi, l'exploitant estimait en 1999 :
 - La communication SAE-PC Trafic a permis d'atteindre 70% de bus à l'heure alors que le seul SAE n'atteignait qu'un score de 55%.
- Dunkerque → à l'approche d'un carrefour, les bus demandent une priorité au SAE qui transmet l'information au PC Trafic depuis 1996. Les gains observés datent de 1999 :

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

- Gain de temps sur les lignes par sens de l'ordre de 2min15,
- Réduction moyenne du temps de parcours de l'ordre de 6%.
- Grenoble → en 1998, la SEMITAG donne la priorité absolue aux bus aux carrefours et crée des couloirs bus, sur la ligne 8, axe structurant du réseau :
 - L'attente aux feux représentait auparavant 27% du temps de parcours, aujourd'hui ce chiffre n'est plus que de 6%,
 - Les décélérations et accélérations ont fortement diminué, ce qui a augmenté le confort des passagers.

Quelques précautions sont à prendre lors de la conception d'un système de priorité bus aux carrefours à feux :

- Le positionnement des stations par rapport aux carrefours : lorsque ceux-ci sont proches l'un de l'autre, cela rend difficile l'estimation du temps de parcours du bus dans la zone d'approche car le temps passé en station est très variable. Cela peut être corrigé par l'envoi d'un deuxième message au système de régulation lorsque le bus quitte la station,
- La fréquence de passage élevée de bus aux carrefours : il peut être nécessaire de choisir de donner la priorité à un bus plutôt qu'à un autre lorsque les deux demandes sont incompatibles (STIF (juin 2001), *Guide technique des systèmes de priorité bus aux carrefours à feux*).

Les carrefours sans feux

Ce type d'intersection n'est envisageable que lorsqu'il n'y a aucun problème de visibilité, que le trafic est faible et les vitesses modérées. La priorité peut être donnée au TC par le biais d'un stop sur la voie secondaire. Une signalisation conséquente doit être mise en place en amont pour avertir les automobilistes du fonctionnement de l'intersection. Ce type d'intersection est quasiment systématiquement remis en cause par les EOQA (Expert ou Organisme Qualifié Agréé pour le contrôle de sécurité des transports publics guidés).

Les carrefours giratoires

Ils ont le grand avantage de modérer les vitesses, d'assurer la sécurité et la fluidité de circulation, de faciliter les demi-tours.

Les inconvénients du giratoire sont sa grande emprise et sa non-régulation de trafic.

Des précautions sont à prendre lors de l'insertion d'un TC en giratoire. En effet, les retours d'expériences démontrent des accidents fréquents sur ce type de carrefours.

Le passage du TC peut se faire sur l'anneau tout comme les autres véhicules ou à travers l'anneau. Le passage sur l'anneau n'est pas envisageable pour un tramway car il présente des contraintes fortes en termes de giration (D.Bertrand-Certu, *Partage de l'espace public et transports collectifs à haut niveau de service-Les transports collectifs et les carrefours*).

Lorsqu'un tramway traverse un giratoire, cela nécessite d'aménager l'espace de telle sorte que les automobilistes puissent comprendre aisément le fonctionnement de celui-ci. Pour cela, il faut aussi les contraindre à réduire leur vitesse.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Aucune signalisation dynamique n'est en général destinée aux passages piétons à proximité d'un tel giratoire (Certu (2008), *Giratoires et tramways-Guide de conception*).



Figure pp : Tramway de Nantes traversant un giratoire



Figure qq : Tramway de Szeged en Hongrie traversant un giratoire



Figure rr : BusWay de Nantes traversant un giratoire

L'agglomération nantaise a opté pour les ronds-points pour obtenir le ralentissement des automobilistes, pour atteindre également un maximum de fluidité dans la circulation, et pour avoir une SLT minimum. Elle a d'autre part opté pour le tramway. La rencontre a donc forcément lieu entre le tramway et les ronds-points. C'est ainsi une trentaine de ronds-points à priorité tramway qui ont été aménagés. Globalement ce système se révèle satisfaisant pour tous les usagers.

Quelques expériences/principes de SLT

Aussi, dans le but d'assurer la sécurité des circulations sur les zones en site propre et d'améliorer la régularité des lignes en site banalisé, de nombreux réseaux se sont équipés de systèmes d'aide à l'exploitation sur les lignes de tramway.

On peut citer tout d'abord la priorité aux feux au niveau des carrefours. Il est important de souligner que la majorité des pertes de temps est liée à la signalisation par feux. Selon les retours d'expérience, ces pertes de temps peuvent atteindre dans certaines villes 10 à 20% du temps de rotation.

La Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles (STIB) se lance dans une importante démarche dont le but est d'assurer la priorité aux tramways et aux bus pour le franchissement des carrefours à feux.

Sur les axes de tramway performants, protégés, dont un quelconque décalage avec l'horaire de passage est impossible, la priorité de passage des tramways aux carrefours est systématique, permettant aux tramways de ne jamais s'arrêter en dehors des arrêts. C'est le concept développé dans de nombreux nouveaux systèmes de tramway implantés en Suisse ou en France.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

La STIB a l'intention d'équiper tous ses tramways, bus et carrefours de dispositifs permettant la télécommande des feux par les TC (Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles, *Tramway, Bus : Manuel des bonnes pratiques pour un réseau performant*).

On peut également citer les systèmes de surveillance et de régulation centralisée. Ceux-ci permettent de surveiller l'ensemble de l'exploitation, de détecter les incidents éventuels, dans le but d'assurer la régularité des transports collectifs et par la même occasion les correspondances entre les différentes lignes.

Le principe repose sur une comparaison entre les temps de parcours théoriques et les temps de parcours réels. Ces informations sont recueillies afin d'établir des statistiques qui permettront ensuite d'améliorer l'exploitation.

Les signaux lumineux d'intersection liés aux TC peuvent être de plusieurs sortes :

- Feux tricolores circulaires R11 
- Feux tricolores modaux R13 
- Feux tricolores directionnels R14 

Il faut veiller à toujours tenir compte des habitudes et pratiques locales afin de ne pas engendrer de comportements dangereux en cas de non-compréhension de la nouvelle signalisation.

- Le signal d'arrêt R24 

Il est utilisé lorsque la traversée des voies est exclusivement réservée aux véhicules des services réguliers de TC.

Les inconvénients de ce système sont :

- Certains automobilistes déclarent ne pas en connaître la signification,
- Il est le plus souvent associé à des barrières et donc assimilé à un signal d'alerte par rapport à leur fermeture,
- En défaut, le signal est éteint,
- Il n'y a pas d'annonce de rouge (équivalent à l'orange).

Ses avantages sont les suivants :

- Il est « transparent » au repos et met ainsi bien en évidence le passage du TCSP,
- On note un bon respect du signal d'arrêt R24 et beaucoup moins d'accidents dans le cas du R24 que dans le cas du R11 (source : SEMITAN). La conclusion est la suivante au niveau de

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

l'accidentologie : un signal R24 doublé en hauteur est pratiquement deux fois plus efficace qu'un R11 lorsqu'il est placé en barrage d'une plateforme de tramway.

Il serait envisageable de réfléchir à ce même système mais avec des feux fléchés, ce concept existant déjà à l'étranger (François Le Jeune-SCE (janvier 2012), *Tramways et BHNS-Insertion urbaine-Cadre réglementaire et signalisation liée aux TC*).

Ainsi, le choix du type de carrefour dépend donc de plusieurs paramètres :

- Le niveau de trafic routier parallèlement et perpendiculairement au TC,
- La vitesse du TC et sa proximité ou non d'une station,
- L'option de demi-tour ou non du carrefour,
- L'espace disponible,
- La visibilité.

b- Stations

Les stations doivent être remarquables et attractives. Pour cela, les quais doivent être clairement séparés de la chaussée. En revanche, faute de place, il est possible, comme l'illustre le tramway de Saint-Etienne, de confondre le quai d'une station et les cheminements piétons.

Cette structure n'a pas empêché pour autant l'équipement des stations en dispositifs d'information.



Figure 55 : Cheminement piéton servant de quai à Saint-Etienne

La RATP teste actuellement la « station de bus du futur ». Celle-ci est expérimentée depuis le 22 mai dernier et pour au moins 6 mois. Elle est située près de la gare de Lyon, au 17 Bd Diderot. Elle a été conçue grâce au programme européen EBSF (European Bus System of the Future) et a coûté 350 000€. La station s'étend sur 80m² au lieu de 35, n'affiche aucune publicité mais des services : automates de vente, plans de lignes, le tout en mode interactif. La RATP a l'ambition d'implanter ce type de station dans 50 à 80 emplacements en Ile-de-France.

Aussi, Place de la Bastille à Paris, l'arrêt comporte 3 écrans tactiles permettant d'accéder à des informations sur le réseau mais également sur le quartier.

Le coût des stations varie en fonction du nombre de stations. Ci-dessous figurent quelques retours d'expériences à ce sujet.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Tableau 12 : Caractéristiques de stations de tramway

	Orléans	Clermont	Valenciennes	Bordeaux 1	Grenoble	Nice
Coût des stations en M€	2,28	5,86	5,59	17,84	10,19	10,68
Nb de stations	24	30	19	43	23	21
Coût/station	0,09	0,20	0,29	0,41	0,44	0,51

Tableau 13 : Caractéristiques de stations de bus en site propre

	Nice	Rouen	Toulouse
Coût des stations	0,02	8,79	2,44
Nb de stations	28	43	10
coût/station	0,0007	0,20	0,24

Le faible coût des stations de bus en site propre s'explique notamment par la réutilisation de stations de bus déjà existantes. Ce fût notamment le cas pour la ville de Nice.

Aux Pays-Bas, les politiques ont bien compris le potentiel des véhicules électriques dans le cadre du développement durable. Les gestionnaires des réseaux électriques prévoient d'installer gratuitement et rapidement sur tout le territoire des bornes de recharge pour voitures électriques. On pourrait donc envisager l'extension de ce concept aux véhicules de transport en commun électriques se rechargeant en station (<http://www.greenunivers.com/2009/04/stations-recharge-solaire-voitures-electriques-4938/>).

Cette option est également envisagée par « industrie technologies ». La démarche serait la suivante : entre deux bus, la borne à rechargement assurerait un appel de courant sur le réseau électrique, qu'il stockerait dans des batteries. Dès l'arrivée du bus, l'énergie serait emmagasinée et transmise en 20s grâce à un « supercondensateur ». Pour passer au tout électrique, il s'agirait alors pour les fabricants de concevoir des bus capables de stocker une énergie suffisante pour se rendre d'une station à une autre et pouvoir ainsi être rechargés.

A Gothenburg en Suède, le bus n'est pas guidé mais les trottoirs présents le long des stations sont équipés de pierres rondes polies. Le but est que le bus accoste le quai en frottant le trottoir mais sans endommager ses pneus pour autant.

La longueur des quais en station des bus en site propre de Sao Paulo permet de recevoir 2 bus articulés qui comportent des portes élargies sur le côté gauche afin de réduire les temps d'échange.

c- Restructuration

La restructuration du réseau de bus d'une agglomération peut modifier et adapter de manière très efficace une offre de transport existante. Il s'agit d'adapter l'offre au marché, à la mutation de l'environnement, aux nouveaux rythmes de vie, de trouver les secteurs pour lesquels l'offre bus est en-dessous des attentes. Desservir ces zones permettra alors des gains considérables de fréquentation.

Les objectifs à atteindre sont donc à la fois d'adapter l'offre de transport aux besoins de mobilité actuels mais aussi d'assurer une meilleure connexion de l'ensemble des lignes du réseau. A terme, une restructuration est censée développer la fréquentation, les recettes, élargir les bases de la clientèle.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Pour mener à bien ce genre de mission, il est nécessaire d'avoir connaissance et de tenir compte des projets de transport futurs de la ville dans un souci de cohérence.

Le but étant de rendre le réseau plus attractif et de gagner de la clientèle, trois critères sont essentiels : assurer la clarté des nouveaux itinéraires, la lisibilité des horaires et des informations, l'efficacité et la fiabilité du nouveau réseau.

La clarté des itinéraires peut notamment se faire via leur simplification (exemple : suppression des itinéraires à antennes). La lisibilité des informations peut se faire par une numérotation des lignes hiérarchisées. L'efficacité du nouveau réseau peut être assurée par des connexions avec les grands pôles générateurs de déplacements et par un fort maillage de l'ensemble du réseau.

Le projet Atobus a consisté à réorganiser le réseau de bus lyonnais, le 29 août 2011. Avec ce projet, l'offre s'est accrue de 6%. Lyon a été la première ville d'Europe de plus d'un million d'habitants à relever un tel challenge. Les résultats sont extrêmement positifs puisqu'à la fin de l'année 2011, la fréquentation avait déjà augmenté de 7% (Dossier de presse Atobus).

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

II- Indicateurs de performance

Les différentes alternatives évoquées ci-dessus peuvent être mesurées en termes de performance par le biais de divers indicateurs quantitatifs. Le tableau ci-dessous illustre le contenu de cette partie sur les indicateurs de performance, à savoir des retours d'expériences chiffrés de différentes villes.

Cette 2^{ème} partie se conclura par une matrice récapitulative figurant en annexe.

Tableau 14 : Plan de la partie II (Réalisation : Manon THURET, 2012)

	Indicateurs de performance									
	Longueur des lignes	Coûts moyens	Capacité	Vitesse commerciale	Rapport population/mode /fréquentation	Fréquence	Fiabilité	Trafic auto	Report modal/Gain de clientèle	Développement durable
Retours d'expériences Bus	France, Nantes	Nantes, Rouen	Nantes, Sao Paulo	Avignon, Grenoble, Nancy, Rouen, Paris, Nantes, Sao Paulo, Amsterdam, Oberhausen (Allemagne), Maubeuge (France), Paris, Nantes, Rouen	Bruxelles, Amsterdam, Stockholm, Londres, Oberhausen (Allemagne), Paris, Nantes, Rouen	Amsterdam, Malahide (Irlande), Oberhausen (Allemagne), Brest, Rouen, Paris, Nantes	Nantes, Paris		Bogota (Colombie), Amsterdam, Stockholm, Genève, Madrid, Hambourg (Allemagne), Nantes, Grenoble, Belfort	Nantes, Nancy
Retours d'expériences Tramway	France, Montpellier, Grenoble	Besançon, Lyon, Clermont, Montpellier, Le Mans, Dijon, Brest	Genève, Clermont, Caen	Rouen, Avignon, Nancy, Caen, Vittoria (Espagne)	Rouen, Caen, Stockholm, Bruxelles	Caen		Nantes	Genève, Brest	

1- Longueurs des lignes

Les longueurs des lignes de tramway fer en France connaissent de grandes disparités entre les réseaux. Par exemple, la ligne de Montpellier a une longueur de 19,6 km, celle de Grenoble de 2,6 km. Cela est fonction de l'agglomération et du territoire qu'elles traversent. En effet, le paysage urbain est un facteur déterminant dans les possibilités d'insertion de ce type de ligne.

Des longueurs moyennes de lignes apparaissent tout de même (cf tableau ci-dessous).

Tableau 15 : Longueur moyenne des lignes (Source : Les TCSP en France - Rivoire Marion - Mémoire Master TURP – 2008)

En Km	Longueur moyenne
BHNS	22.5
Tramway pneu	13.6
Tramway fer	11.4

Les longueurs de lignes sont beaucoup plus contraintes et restreintes en voie unique et site banalisé. Elles ne dépassent en effet que rarement les longueurs respectives de 400m et 1km car l'exploitation est beaucoup moins souple sur ce type de plateforme.

2- Coûts moyens

Les coûts varient beaucoup d'un système à un autre.

En règle générale, les autobus guidés ont un coût intermédiaire entre le tramway sur fer et le bus en site propre.

Le coût d'investissement d'un tramway est au moins 2 fois plus cher que celui d'un bus guidé. Quant aux coûts d'exploitation, ils peuvent être identiques ou également 2 fois plus chers selon les réseaux.

Cependant, le coût d'investissement du BusWay de Nantes est certes divisé par 3 par rapport à celui d'un tramway, mais la capacité est elle aussi divisée par 3 (Mai 2010), BHNS, quand le bus se fait tramway, *Ville Rail Transports*).

Les coûts d'exploitation d'un tramway sur pneu sont supérieurs à ceux d'un tramway fer de par leur consommation électrique supérieure, le renouvellement des pneumatiques et l'entretien des revêtements.

Les graphiques ci-dessous permettent de comparer les différents coûts pour les systèmes proposés.

Selon le Certu, un couloir bus équivaut à 1 à 2 M€ par kilomètre de ligne en termes de coût d'investissement (donnée qui ne figurait pas dans le graphique ci-dessous et qui en constitue un complément).

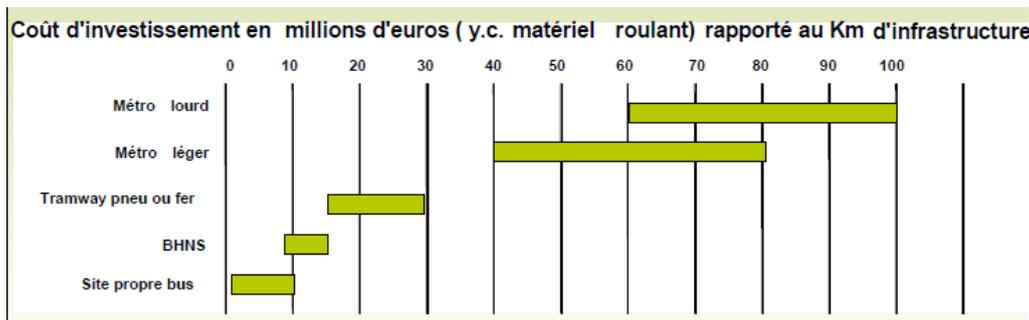


Figure tt : Coût d'investissement rapporté au km d'infrastructure (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail)

Tableau 16 : Coûts des infrastructures au kilomètre (Source : Le coût des projets de transports en commun et des aménagements de voirie - <http://developpement-durable.gouv.fr>)

Site propre bus-	1 à 7 M€ / km
TVR de Caen et Nancy	12 à 15 M€ / km
Tramway	12 à 30 M€ / km
Métro léger de type Val	65 M€ / km
Métro à grand gabarit	> 90 M€ / km

Tableau 17 : Données de coûts des systèmes TCSP (Source : Certu)

Système	BHNS	Tramway (sur fer ou sur pneus)
Coût d'un véhicule (valeur 2007 HT)	300 k€ à 900 k€	1,5 à 3 M€
Coût d'investissement d'une Tré ligne de TCSP - partie « transport » hors véhicules (valeur 2013 HT)	2 à 10 M€/km de site propre	13 à 22 M€/km de site propre
Durée de vie des matériels	15-30 ans	30-40 ans
Coûts d'exploitation d'une Tré ligne TCSP (valeur 2008 HT)	3,5 à 5 €/km	5 à 7 €/km

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

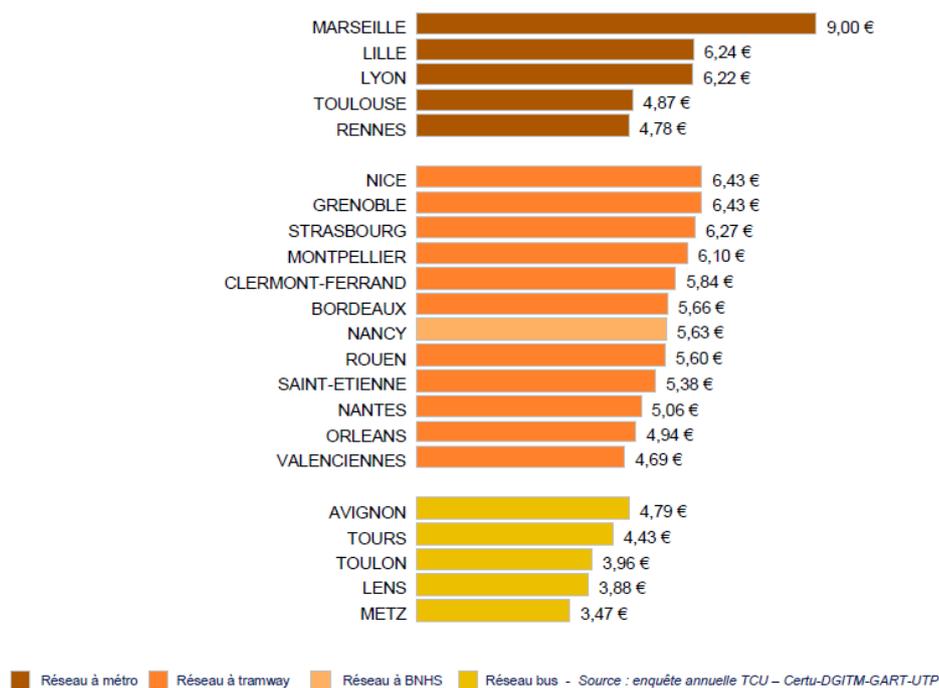


Figure uu : Charges par kilomètre parcouru (Source : Certu-GART-UTP)

Tableau 18 : Coûts de divers projets de TCSP (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail)

Agglomération	Longueur	Mise en service	Coût total de réalisation y.c. MOE et MOA	Coût total par km
TEOR Rouen	29 km dt 16 km en site banalisé	2001/2007	165 M€	6 M€ au total 13 M€ pour les parties en BHNS
Tramway LEA Lyon	15 km	2005	170 M€	11 M€
BHNS de Nantes	7 km	2006	70 M€	10 M€
Tramway sur pneu Clermont	14 km	2006	300 M€	21 M€
Tramway de Montpellier (L2)	20 km	2006	400 M€	20 M€
Tramway du Mans	15 km	2007	336 M€	23 M€
Tramway de Dijon	18 km	2012	400 M€	22 M€
Tramway de Brest	14 km	2012	383 M€	27 M€
TCSP de Nimes (Tram'bus)	5 km	2012	59 M€	12 M€
Tramway de Besançon	14 km	2015	231 M€	16 M€

3- Capacité

La capacité d'un mode de transport dépend à la fois de la capacité unitaire du véhicule et de la fréquence à laquelle il est possible de le faire circuler sur l'infrastructure. Elle s'exprime en passagers par heure et par sens. Les chiffres peuvent être différents d'une source à une autre ; une moyenne de ces résultats figure dans la matrice finale.

Capacité des véhicules ou des rames à 4 pers/m² :

- Bus et trolleybus : 40 à 100 places
- Tramway pneu ou fer : 150 à 250 places

Figure vv : Capacité des véhicules (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail)

Une densité de 4 passagers par m² aux heures de pointe est considérée comme un bon niveau de confort dans les transports collectifs.

La capacité d'un tramway fer est de l'ordre de 120 à 180 personnes (pour 20 à 30m) ; celle d'un tramway pneu de 120 à 160 personnes (pour 25 à 32m) ; celle d'un tramway court de 120 à 150 places ; celle d'un TFS de 178 voyageurs ; celle d'un BHNS à guidage immatériel de 90 à 120 personnes (pour 18 à 24m) ; celle d'un bus, trolleybus, BHNS sans guidage ou guidage partiel immatériel de 100 personnes (pour 18m).

Capacité maximale des matériels (4 pers./m² - fréq. 3 min.) (source : Certu)

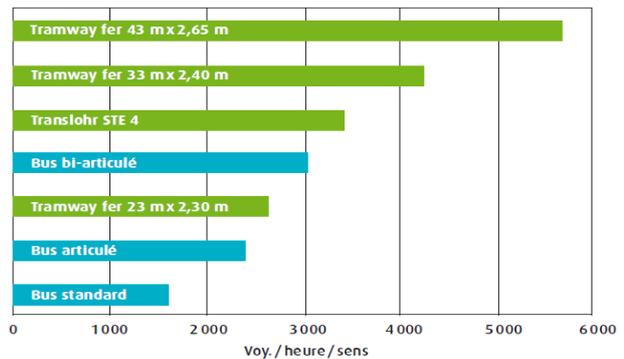


Figure ww : Capacité maximale des matériels (Source : Certu)

A titre d'exemple, 4 types de tramways sont exploités à Genève, de capacités différentes :

- 11 tramways Stadler Tango : longueur de 44m, largeur de 2,30m, hauteur de 3,64m, 80 places assises, 181 places debout ;
- 39 tramways Bombardier : longueur de 42m, largeur de 2,30m, hauteur de 3,57m, 66 places assises, 171 places debout ;
- 22 tramways DUEWAG (série 3) : longueur de 21,90m, largeur de 2,30m, hauteur de 3,75m, 45 places assises, 130 places debout ;
- 24 tramways DUEWAG (série 4) : longueur de 30,90m, largeur de 2,30m, hauteur de 3,75m, 70 places assises, 200 places debout (http://www.etat.geneve.ch/dt/mobilite/transports_publics-754-3823.html).

Le tramway sur pneu de Clermont-Ferrand comptabilise 55000 passagers par jour ; le TVR de Caen détient une capacité de 3000 personnes par sens et par heure ; la capacité du site propre des bus de Sao Paulo atteint 20 000 p/h/sens avec 120 bus par heure dans chaque sens.

D'une manière générale, la capacité d'un tramway est de 5890 voy/km ; celle d'un BHNS de 3000 voy/km ; celle d'un bus articulé de 2080 voy/km.

Le tableau suivant illustre les capacités des différents systèmes de transport en commun de surface.



Figure xx : Bus en site propre de Sao Paulo

Tableau 19 : Capacité de différents systèmes (Source : Certu)

Mode	Voyageurs par rame	Voy/h/sens si f = 10min	Voy/h/sens si f = 5min	Voy/h/sens si f = 3min
Bus standard	75	450	900	1500
Bus articulé	110	660	1320	2200
Eco-tram 28m*2.1m	125	750	1500	2500
Bus bi-articulé	150	900	1800	3000
Tramway 33m*2,4m	210	1260	2520	4200
Tramway 43m*2,65m	280	1680	3360	5600

4- Vitesse commerciale

La vitesse commerciale est la vitesse moyenne d'une ligne de transport public en tenant compte des arrêts aux stations.

Les BHNS peuvent atteindre des vitesses commerciales équivalentes à celles enregistrées par les tramways, de l'ordre de 21km/h en moyenne. Les bus, quant à eux, ont des vitesses commerciales plus basses, de l'ordre de 17km/h en moyenne. Cela est fortement dû au fait que le bus circule beaucoup moins en site propre que ses confrères.

Certaines vitesses commerciales de BHNS sont en effet similaires à celles de tramway, d'autres sont beaucoup plus faibles. Par exemple, la vitesse commerciale du BHNS de Rouen est de l'ordre de 13,8 km/h, celle du BHNS de Nantes de 22 km/h. Cela dépend de la volonté de l'agglomération de favoriser ou non une bonne vitesse commerciale.

La vitesse commerciale moyenne d'un tramway sur pneu est théoriquement la même que celle d'un tramway ferroviaire, à savoir 18 à 25 km/h. Cependant, les TVR de Nancy et Caen connaissent de nombreux déraillements conduisant à une faible vitesse commerciale moyenne (15 km/h).

Les vitesses commerciales dépendent à la fois de l'aménagement, du trafic routier, de l'inter-distance entre les stations,... En fonction de l'expérience des réseaux de tramway en France, le tracé du tramway d'Avignon a été classé en 4 catégories :

- Une section d'une vitesse commerciale de 25 km/h en site protégé,
- Une section d'une vitesse commerciale de 20 km/h en site propre,
- Une section d'une vitesse commerciale de 17 km/h en site mixte avec trafic local,
- Une section d'une vitesse commerciale de 15 km/h en site mixte avec trafic important (SNC, Safège, SCE, Ilex, *Maîtrise d'œuvre des 2 lignes de tramway et des opérations connexes anticipées du Grand Avignon-volume 5*).

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Ci-dessous sont présentés des retours d'expérience de différents réseaux en termes de vitesse commerciale.

- Une ligne du réseau de **bus** de **Grenoble** a connu une redynamisation : mise en site propre à 70%, stations accessibles, priorité aux feux, véhicules climatisés. La vitesse commerciale s'est alors accrue de 20% environ pour atteindre 18km/h.
- **Nancy** a un système de priorité **bus** basé sur la communication entre le SAE et le PC trafic depuis 1982. L'exploitant estimait en 1999 une augmentation de 16% de la vitesse commerciale de l'ensemble des lignes.
- En 1998, la SEMITAG de **Grenoble** donne la priorité absolue aux **bus** aux carrefours et crée des couloirs bus, sur la ligne 8, axe structurant du réseau. La vitesse commerciale est alors passée d'environ 15,4 km/h à 19,4km/h (STIF (juin 2001), *Guide technique des systèmes de priorité bus aux carrefours à feux*).
- La vitesse commerciale du **TEOR** de **Rouen**, en site propre, est de l'ordre de 17km/h en tenant compte des infrastructures non encore abouties et des carrefours où Teor n'a encore pas la priorité aux feux. Celle du tramway est de 19km/h.
- La vitesse commerciale moyenne du **TVM** (Trans Val de Marne) de **Paris**, en site propre, est de 21km/h et sa vitesse maximale peut atteindre 26km/h.
- Les **bus en site propre** de **Sao Paulo** atteignent une vitesse moyenne de 18 km/h.
- Le **BusWay** de **Nantes** présente une vitesse commerciale de l'ordre de 21km/h (Systra (juin 2005), *Coûts d'investissement et d'exploitation des TCSP et retours d'expériences sur les bus en site propre*).
- Aux Pays-Bas, à **Amsterdam**, circulent deux lignes fortes de **BHNS** sur 56km, dont 37 en site propre. La vitesse commerciale est élevée puisque supérieure à 35km/h.
- A **Oberhausen**, en Allemagne, a été mise en place en 1996 une **ligne forte de bus** qui a la particularité d'avoir un tronç commun avec une ligne de tramway. Sa vitesse commerciale est de 34km/h.
- Le **tramway** de **Vittoria** en Espagne a un écartement métrique et peut atteindre une vitesse maximale de 70 km/h, tout comme le TFS.

Ci-dessous sont présentées les vitesses commerciales moyennes des différents véhicules.

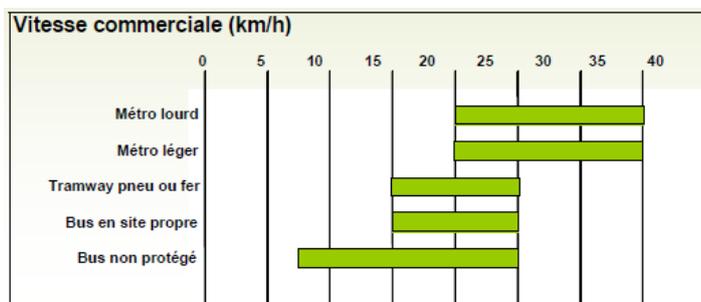


Figure yy : Vitesse commerciale (Source : Cours Master TURP 2011 - Egis Rail)

Tableau 20 : Vitesses commerciales moyennes (Source : Les TCSP en France-Rivoire Marion-Mémoire Master TURP, 2008)

	Vitesse commerciale moyenne
BHNS	17,5
Tramway pneu	17,7
Tramway fer	20,2

5- Rapport densité de population/mode/fréquentation

Compte tenu de leurs coûts et de leur capacité, les tramways sont principalement choisis par :

- Des agglomérations de taille importante, généralement supérieure à 300 000 habitants et pour des trafics élevés : de 3000 à 13 000 clients par sens en heure de pointe,
- Des agglomérations millionnaires telles Rio de Janeiro, dans le but de compléter leur réseau déjà massif.

Le tramway est le système ferroviaire urbain le plus développé en France et en Europe sur les agglomérations de plus de 250 000 habitants. Il devient également de plus en plus répandu dans les villes de moins de 100 000 habitants, notamment en Suisse et en Allemagne.

Plusieurs agglomérations de taille moyenne (entre 100 000 et 250 000 habitants) ont opté pour le BHNS, faisant passer la part du BHNS de 15% en 2008 à 25% en 2015 dans le total des sites propres (en nombre de kilomètres).

Le constructeur Alstom s'est alors attaché à créer un tramway court à destination des villes moyennes, de 50 000 à 100 000 habitants (<http://www.alstom.com/transport/fr/produits-et-services/materiel-roulant/tramway-citadis-compact/>).

A titre d'exemples, l'agglomération de Caen compte 200 000 habitants et est dotée d'un TVR. Le TVR de Caen dénombre 30 000 voyageurs par jour environ en 2004.

La ville de Stockholm dénombre 760 000 habitants ; avec les banlieues ce nombre s'élève à 1 700 000 habitants. Le réseau de transport collectif est important (avec une part de 50% dans la ville) et est constitué de : 410 lignes d'autobus, 3 lignes de métro, une ligne de tramway. La ville a également décidé d'améliorer le réseau de bus, en le hiérarchisant par la création de 5 lignes fortes de BHNS.

Maubeuge, commune de 35 000 habitants, a depuis 2008 un BHNS (<http://www.bhns.fr>).

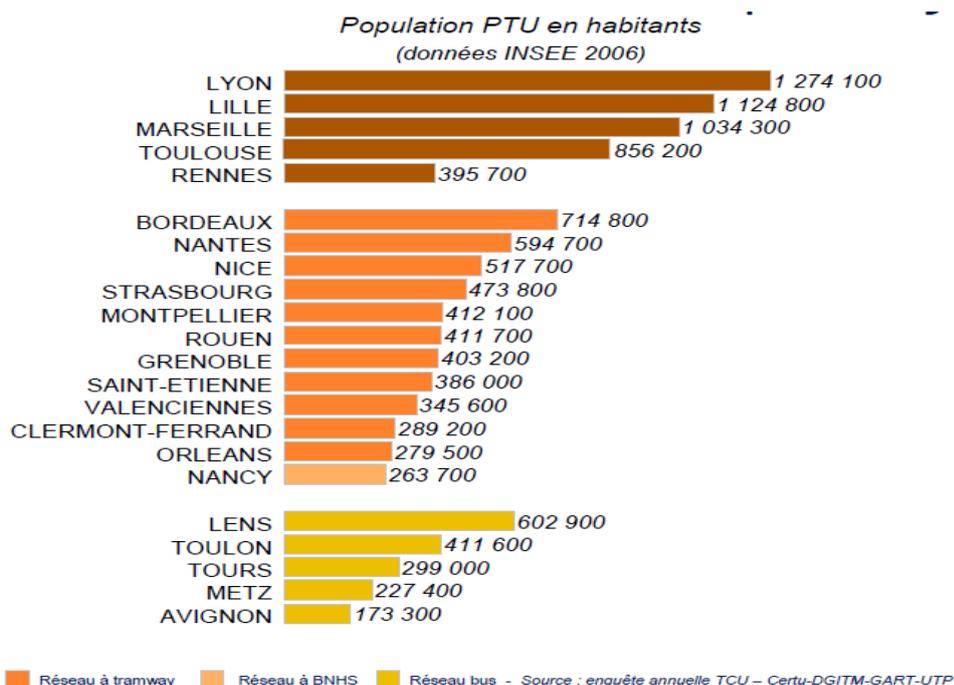


Figure zz : Lien entre population et mode de transport (Source : INSEE-Certu-GART-UTP)

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Avec le graphique ci-dessus, on s'aperçoit que le choix du mode de transport n'est pas toujours lié à la taille de la population.

On peut souligner que le coût d'implantation réduit d'un BHNS par rapport à celui du tramway fait que sur 78 projets de transport en commun recevant des subventions, 43 sont des lignes de BHNS, soit 55%.

Au niveau du gain de clientèle généralement atteint en France, il est de 30 000 à 110 000 voy/j pour le tramway, 15 000 à 65 000 pour le BHNS, 25 000 à 50 000 pour le bus guidé, 10 000 à 35 000 pour le bus standard.

→ **Londres** incarne la réussite du **bus** standard de par la forte fréquentation de ce mode de transport dans la ville. En effet, en 2006, les bus de Londres ont transporté plus d'un milliard de passagers. Le bus est ainsi le mode le plus utilisé avec 6,5 millions de déplacements effectués en bus quotidiennement dans le Grand Londres.

Les atouts du réseau de bus du Grand Londres résident donc dans son grand nombre de lignes (700) dont 350 qualifiées de haute fréquence, ses 100 lignes nocturnes, des lignes circulant 24h/24, des services du samedi proches de ceux de la semaine, des lignes fonctionnant pratiquement tous les dimanches, son réseau étoffé et maillé qui pallie à une desserte ferrée et métro moins attractive qu'en Ile de France par exemple (Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Ile-de-France (avril 2009), *La place des bus dans les transports collectifs de Londres*).

→ Le **BusWay** de **Nantes** connaît une fréquentation de 27000 personnes/j deux ans après sa mise en service, contre 18000 à ses débuts.

→ Le nombre de voyages effectués par le système **TEOR** de **Rouen** est de 40 000 par jour, soit 10 millions de voyages par an.

→ Aux Pays-Bas, à **Amsterdam**, circulent deux lignes fortes de **BHNS** sur 56km, dont 37 en site propre. La fréquentation a atteint 40 000 voyages par an.

→ Le **TVM** (Trans-Val-de-Marne, BHNS) de **Paris** a été mis en place en 1993. Son infrastructure est protégée à 93%. Le trafic s'élève jusqu'à 65000 voyages par jour ; il était de 23000 à sa mise en service.

→ A **Oberhausen**, en Allemagne, a été mise en place en 1996 une **ligne forte de bus** qui a la particularité d'avoir un tronc commun avec une ligne de tramway. Sa fréquentation est de l'ordre de 25 000 voyages par jour, soit 2300 passagers par heure (<http://www.bhns.fr>).

La fréquentation du réseau de la STIB (Bruxelles) se répartit de la façon suivante en 2006 :

On s'aperçoit que le tramway, pour une longueur totale de ligne deux fois moins importante que celle des bus, enregistre malgré tout un nombre pratiquement équivalent de voyages.

Tableau 21 : Fréquentation du réseau de la STIB (Source : STIB)

Mode	Nombre de lignes	Longueur totale (en km)	Fréquentation (année 2006)	
			Nombre de voyages	Répartition
Métro	3	43,77	122.000.000	45,29%
Tramway	18	217,32	70.400.000	26,13%
Bus	48	477,73	77.000.000	28,58%
Total	69	738,82	269.400.000	100%

Offre et fréquentation du réseau de la STIB en 2006: détails par mode (métro, tramway et bus)

Source: STIB

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

L'agglomération de Rouen et son réseau offrent une ligne de tramway, 41 lignes de bus régulières et 31 lignes scolaires. Ce réseau de bus enregistre 85000 voyages par jour. Le réseau de tramway comporte une ligne régulière dont la fréquentation est de 60000 voyageurs par jour. Les 3 lignes en commun du réseau TEOR enregistrent quant à elles 45000 voyageurs par jour.

La fréquentation a évolué de la façon suivante depuis la mise en service du TEOR de Rouen (en site propre) :

Tableau 22 : Evolution de la fréquentation du TEOR

Lignes	Avril 2001		Avril 2002		Avril 2003	
	Kilomètres moyens par mois	Voyages moyens par mois	Kilomètres moyens par mois	Voyages moyens par mois	Kilomètres moyens par mois	Voyages moyens par mois
T1			41 872	111 329	41 574	182 830
T2	45 200	132 730	46 031	152 013	51 543	215 773
T3	43 733	107 359	44 579	114 692	44 216	141 281

Quant à la fréquentation du TVM de Paris, en site propre, elle a évolué de la façon suivante depuis sa date de mise en service :

Aussi, l'ensemble des trois autres lignes de bus qui emprunte partiellement le site propre du TVM de Paris connaît un trafic supplémentaire de 2 millions de voyageurs par an.

Le tableau ci-dessous illustre les niveaux de clientèle généralement atteints en France, métro compris, à titre de comparaison.

Tableau 23 : Evolution de la fréquentation du TVM

Année	Nb de passagers par an	Evolution par rapport à l'année précédente
01/10/1993	1 396 180	
1994	6 054 761	333,67%
1995	7 498 897	23,85%
1996	8 554 594	14,08%
1997	9 304 243	8,76%
1998	9 852 286	5,89%
1999	10 614 677	7,74%
2000	11 276 951	6,24%
2001	12 001 150	6,42%
2002	13 095 604	9,12%
2003	13 043 394	-0,40%
2004	13 582 648	4,13%

Tableau 24 : Niveaux de clientèle généralement atteints en France (Source : Le coût des projets de transports en commun et des aménagements de voirie (<http://developpement-durable.gouv.fr>))

	Niveaux de clientèles généralement atteints en France (province)
Site propre bus-	10 000 à 35 000 voy / jour
TVR de Caen et Nancy	30 000 à 35 000 voy / jour
Tramway	30 000 à 110 000 voy / jour
Métro léger de type Val	100 000 à 160 000 voy / jour
Métro à grand gabarit	100 000 à 250 000 voy / jour

6- Fréquence

On parle bien souvent de fréquence en transports collectifs (nombre de fois où un évènement se produit dans une unité de temps), mais il s'agit en fait d'intervalle de passage entre deux véhicules.

Les BHNS et autobus guidés sont capables d'atteindre les mêmes fréquences qu'un tramway. En termes d'aménagement, les fréquences s'avèrent beaucoup plus faibles en voie unique, du fait d'une exploitation moins souple sur ce type de plateforme.

Les bus circulant en site non-protégé sont insérés dans la circulation automobile et peuvent difficilement offrir une fréquence inférieure à 4 minutes.

Voici quelques exemples de fréquences atteintes dans différents réseaux :

- En heures de pointe, la fréquence du **TEOR de Rouen**, sur site propre, est de 2min30 sur le tronc commun, 6 à 9min sur chacune des lignes. En heures creuses, la fréquence est de 4min sur le tronc commun, 9 à 11min sur chacune des lignes.
- La fréquence offerte du **TVM de Paris**, en site propre, est de 4min en heures de pointe ; 8min en heures creuses.
- Le **BusWay de Nantes** offre un intervalle entre deux passages de 3.5min en HP et 6-7min en heures creuses, tout comme les 3 lignes de tramway de Nantes.
- Aux Pays-Bas, à **Amsterdam**, circulent deux lignes fortes de **BHNS** sur 56km, dont 37 en site propre. La fréquence est forte avec 8-10 bus/heure en jours ouvrés.
- Le **corridor de qualité pour bus de Malahide** a été mis en service en 1997. Le bus circule en site propre latéral sauf cas exceptionnels (dus à une section trop étroite par exemple). De plus, sa voie propre se dédouble en approche de carrefours. Sa fréquence est de 2min30 en heure de pointe et de 3min en heures creuses.
- A **Oberhausen**, en Allemagne, a été mise en place en 1996 une **ligne forte de bus** qui a la particularité d'avoir un tronc commun avec une ligne de tramway. Sa fréquence est de l'ordre de 1,5 à 2 min.
- Le **TVR de Caen** offre un tramway toutes les 3 à 5 min sur le tronc commun (<http://www.bhns.fr>).

Ci-dessous figurent des données relatives aux fréquences obtenues par les différents systèmes.

Tableau 26 : Fréquence de divers réseaux (Source : Certu, 2009)

Réseaux	Fréquence moyenne	Voy./km/véhicule	Véhicule/heure	Voy/km/heure
Métro Paris	~3 minutes	32	20	640
Tramway Province	5 minutes	11,8	12	142
Réseaux de bus Haut Niveau de Service	8 minutes	6	7,5	45
Réseaux de bus + de 500 000 hab.	9 minutes	4,9	6,6	32
Réseaux de bus de 250 000 à 500 000 hab.	10 minutes	3,6	6	22
Réseaux de bus de 100 000 à 250 000 hab.	15 minutes	2,5	4	10
Réseaux de bus de - 100 000 hab.	30 minutes	2,2	2	4

Tableau 25 : Nombre moyen de passages en heure de pointe (Source : Les TCSP en France-Rivoire Marion-Master TURP, 2008)

	Nombre de service moyen à l'HP
BHNS	7,4
Tramway pneu	8,7
Tramway fer	11,5

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Tableau 27 : Performances tramways et bus (Source : Certu, 2009)

Tramway

	Longueur des lignes en km		Production		Voyages		V/Km de ligne	Fréquence		V/K
	1999	2009	1999	2009	1999	2009	2009	veh/km/heure	2009	2009
Bordeaux		88,6		4 452 733		59 389	1340 609	10	6,1	13,3
Caen		31,4		1 231 857		11 516	733 503	8	7,8	9,3
Clermont-Ferrand		27,2		1 161 901		14 269	1 049 191	8	7,2	12,3
Grenoble	38,2	67,6	2 180 343	3 949 697	25 683	43 471	1 286 124	11	5,2	11,0
Lille	44,8	44,0	1 461 398	1 466 990	8 120	8 707	395 773	7	9,2	5,9
Lyon		97,6		3 911 132		54 081	1 108 217	8	7,7	13,8
Mans (Le)		29,0		1 414 700		12 278	846 759	10	6,3	8,7
Marseille	6,0	22,0		1 152 456		14 063	1 278 455	10	5,9	12,2
Montpellier		70,8		3 366 625		44 992	1 270 960	9	6,4	13,4
Mulhouse		23,8		952 852		12 879	1 082 269	8	7,7	13,5
Nancy		19,8		1 067 794		9 943	1 004 343	11	5,7	9,3
Nantes	54,0	86,0	2 556 336	4 756 057	35 280	65 775	1 529 651	11	5,5	13,8
Nice		17,4		1 022 658		21 908	2 518 161	12	5,2	21,4
Orléans		36,0		1 513 004		11 354	630 778	8	7,3	7,5
Rouen	36,6	36,6	1 428 428	1 416 416	15 303	15 047	822 240	8	7,9	10,6
Saint-Etienne	18,6	38,8	1 404 942	1 648 993	15 460	18 905	974 485	8	7,2	11,5
Strasbourg	24,4	105,6	1 625 813	5 550 243	28 515	60 323	1 142 481	10	5,8	10,9
Valenciennes		36,6		1 163 834		6 581	359 617	6	9,6	5,7
Somme	222,6	878,8	10 657 260	41 192 807	128 361	485 481	1 104 873	9	7	12
Moyenne	31,8	48,8	1 776 210	2 288 878	21 394	26 971	1 076 312	9,0	6,9	11,3

Source des données : Certu - TCU 1995-2009

Bus

	Longueur des lignes en km		Production		Voyages		V/Km de ligne	Fréquence		V/K
	1999	2009	1999	2009	1999	2009	2009	veh/km/heure	2009	2009
Bordeaux		900,4	22 357 332	20 920 929	64 516	35 087	38 968	5	13	1,7
Caen	287,8	277,3	7 537 990	6 786 899	22 950	14 903	53 743	5	13	2,2
Clermont-Ferrand	221,0	194,8	6 953 524	6 660 638	18 432	13 045	66 966	7	9	2,0
Grenoble	299,5	338,0	10 079 822	11 822 733	26 214	32 179	95 204	7	9	2,7
Lille	572,8	504,9	15 992 470	25 089 133	37 971	47 817	94 706	10	6	1,9
Lyon	1223,0	1154,2	38 671 564	36 543 970	119 595	155 380	134 621	6	10	4,3
Mans (Le)	178,0	178,8	5 541 744	5 613 427	22 359	11 630	65 045	6	10	2,1
Marseille		621,0	21 230 816	21 135 822	79 900	70 510	113 543	7	9	3,3
Montpellier	349,0	331,8	8 774 213	7 813 014	28 792	22 009	66 332	5	13	2,8
Mulhouse	227,5	202,5	5 913 473	5 415 933	26 861	11 094	54 785	5	11	2,0
Nancy	237,0	229,7	7 168 395	7 675 414	20 250	15 509	67 519	7	9	2,0
Nantes	666,0	679,5	15 958 215	16 835 325	47 009	48 737	71 725	5	12	2,9
Nice	475,3	924,0	9 320 949	15 913 079	37 164	34 475	37 311	3	18	2,2
Orléans		358,6	9 407 913	8 830 416	16 106	14 716	41 037	5	12	1,7
Rouen	471,5	652,1	11 110 374	9 737 788	23 652	27 969	42 891	3	21	2,9
Saint-Etienne	286,9	491,7	7 346 867	9 176 142	23 476	20 769	42 239	4	16	2,3
Strasbourg	300,9	275,2	12 128 697	11 717 622	63 022	35 004	127 195	8	7	3,0
Valenciennes	603,7	761,6	7 784 330	7 895 974	20 523	13 665	17 942	8	30	1,7
Somme	6399,9	9076,1	126 030 284	188 696 645	698 762	624 498	68 807	4	15	3
Moyenne	426,7	504,2	10 889 460	10 483 147	38 822	34 694	68 432	5,4	12,7	2,4

7- Fiabilité

En termes de fiabilité, les objectifs sont souvent de l'ordre de 80-95%. La norme européenne CEN 13816 demande une valeur supérieure à 80% pour la régularité. Les expériences de BHNS démontrent qu'un seuil de 95% est atteignable. Ci-dessous, figurent les objectifs en termes de ponctualité de différents réseaux, accompagnés des résultats réellement obtenus.

Tableau 28 : Seuils de régularité (Source : COST-BHNS, Octobre 2011)

	Régularité, ponctualité objectif	Seuils atteints
Nantes (Busway)	90% (i+2min)	98 %
Fastrack (B)	95% (H-1min;H+5min)	97,5 %
Twente (line 2, 3)	80% H-1min;H+5min	94,7 / 97,6 %
Paris (TVM)	90% (i+2min)	95,8 %
Grenoble (line 1)	90% (H-1min;H+5min)	95
Leeds	95% (H-1min;H+5min)	93 %
Almere (network)	80% H-1min;H+3min	91,4 %

Légende : i=intervalle (objectif de régularité) et H = horaire programmé (objectif de ponctualité).

Cette information sur la fiabilité n'ayant été obtenue que pour les BHNS, cet indicateur ne figurera pas dans la matrice récapitulative.

8- Trafic automobile

Le trafic automobile a une réelle importance puisque TCSP et voitures particulières doivent cohabiter.

A titre d'exemple, le Boulevard du Petit Port à Nantes a été réaménagé. En 1990, il accueillait 2x3 voies de circulation et écoulait plus de 50 000 véhicules/jour, soit près de 80 000 personnes en voitures, deux-roues et bus.

Avec l'arrivée du tramway, la chaussée Est a été neutralisée pour permettre sa mise en place. La chaussée Ouest, quant à elle, s'est transformée en 2x1 voies de circulation avec 2 bandes cyclables de 1,5 m.

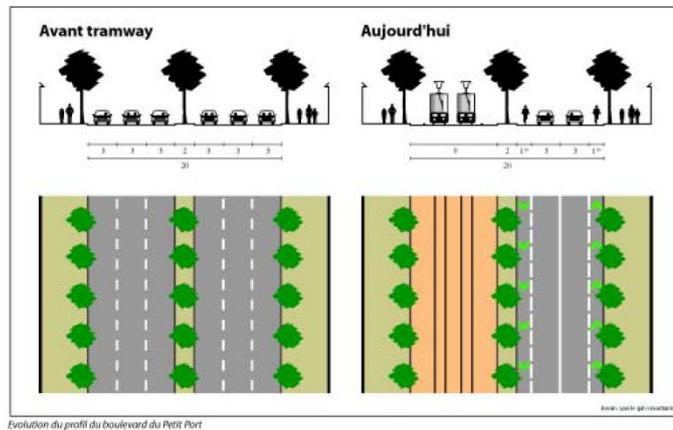


Figure aaa : Réduction des voies automobiles

Aujourd'hui, le trafic est d'environ 30 000 véhicules/jour et près de 90 000 personnes à vélo, bus, tramway et voitures.

Cela montre que l'on peut accueillir davantage de personnes tout en diminuant l'usage de l'automobile.

Pour une exploitation satisfaisante du tramway en site mixte/banalisé, il est nécessaire de pouvoir réduire sensiblement le trafic automobile au seul accès local (par exemple fermetures ponctuelles pour casser le transit, sens interdits...) puisque le nombre de voies dédiées aux automobilistes est restreint. Lorsque le trafic ne peut être réduit, il est dans ce cas préférable de choisir un autre itinéraire (Inputs TTK (janvier 2012), *Rapport Tramway Avignon-Etudes préliminaires*).

Bien souvent, le simple aménagement en site banalisé dissuade les automobilistes de circuler en masse sur ce tronçon, par risque de congestion. En effet, à Nantes, le trafic a diminué. 15 000 véhicules par jour circulaient sur l'axe auparavant, ce sont environ 6 000 véhicules par jour qui circulent sur l'axe dorénavant.

SCE préconise de ne pas envisager un site banalisé au-delà des seuils suivants :

- Un seuil de 450 véhicules/heure/sens sur des sections de faibles distances avec des possibilités de dégagement de la circulation automobile,
- Un seuil de 250 véhicules/heure/sens pour un fonctionnement optimisé plus compatible avec des objectifs de performance tramway.

Quant à l'aménagement en voie unique, celui-ci impacte peu la circulation automobile, de par sa faible emprise au sol. Cet indicateur sur le trafic automobile ne sera pas présenté dans la matrice finale car il ne trouve sa pertinence que pour peu de système (site banalisé principalement).

9- Report modal/Gain de clientèle

Il s'agit du nombre de personnes se reportant d'un mode de transport (ce qui nous intéresse ici : la voiture particulière) à un autre (ici, les transports collectifs) suite à un changement (restructuration, création ou extension de lignes,...).

Le gain de clientèle généralement atteint pour une ligne de tramway est de l'ordre de 2500 à 8000 voy/j ; pour une ligne de BHNS, celui-ci se situe entre 1500 et 3000 voy/j. Les transports les plus lourds sont en effet plus capacitaires et plus « à la mode ».

Voici, ci-dessous, à titre d'exemples, quelques retours d'expériences en termes de gain de clientèle.

→ **Madrid**, en 1995, a permis, grâce à son **BHNS**, de diviser par 2 le nombre d'automobiles sur les voies.

→ **Hambourg** et son **BHNS** a connu un gain en clientèle de « seulement » 15% en 3 ans car le BHNS est comparé à une ligne urbaine existante et déjà très attractive. Les améliorations concernaient surtout l'augmentation de l'offre et la lisibilité.

→ La hiérarchisation du réseau de bus de **Stockholm**, avec la création de 5 lignes fortes de **BHNS**, a entraîné une augmentation de clientèle de 50% environ suite aux premières mises en service, alors que le gain en temps de parcours promet de s'améliorer encore davantage.

→ Suite au projet du **corridor de qualité pour bus** de **Malahide**, la part des déplacements en voiture particulière a diminué de 10 points, au profit de celle des bus qui elle a augmenté de 4 points.

→ Aux Pays-Bas, à **Amsterdam**, circulent deux lignes fortes de **BHNS** sur 56km, dont 37 en site propre. La part de la clientèle a augmenté de 10 à 15% par an.

→ Le projet d'axe Nord-Sud de **Brest** a été mis en place en 2003. La ligne est de 6km dont 40% en **site propre**. Depuis, la fréquentation de la ligne a augmenté de 31% (<http://www.bhns.fr>).

→ Une ligne du réseau de **bus** de **Grenoble** a connu une redynamisation : mise en site propre à 70%, stations accessibles, priorité aux feux, véhicules climatisés. Avec le même parc de véhicules, l'offre s'est améliorée, et la clientèle a augmenté (+40% environ).

→ A **Belfort**, la fréquence des **bus** avait été augmentée. Aussi, les lignes se sont mises à desservir, à mois de 300m, 80% de la population de la plaque urbaine de 19 km² où résident 75 000 habitants. Contrairement à beaucoup d'autres réseaux, Belfort n'a pourtant pas opté pour de grands travaux d'infrastructures type tramway. Belfort a privilégié un service global (auto-partage, vélos en libre service...), post-paiement, information voyageurs par Internet et SMS... Ainsi, le plus petit département de France a déjà augmenté de 80% en 4 ans l'usage des transports en commun, résultat qu'aucun autre réseau n'avait encore obtenu.

Au niveau du report modal de la voiture vers les TC, les taux sont compris entre 5% et 30% (cf tableau ci-dessous).

Tableau 29 : Reports modaux (Source : COST-BHNS, Octobre 2011)

	Report modal de la voiture	Report modal du vélo	Report d'autres modes
Busway (Nantes)	30 %		
Fastrack (Ebsfleet Kent Thameside)	19 %		
Malahide corridor (Dublin)	17 %		
Bus VAO corridor , all lines (Madrid)	15 %		
The Jokerilinja 550 (Helsinki)	12 %		
3 lines "Citybussarna" (Jönköping)	6 %	5 %	13% nouveaux voyages
Line 2 and 3 (Twente)	6 %	24 %	
Trunk network (Stockholm)	5 %		60% du metro

10- Développement durable

Le tramway est reconnu être beaucoup moins polluant que le bus. Son gain en CO² annuel peut en effet être jusqu'à deux fois plus grand que celui du BHNS.

Le bus guidé enregistre de mauvais résultats en termes de développement durable puisque sa pollution locale et sa consommation énergétique sont proches de celles de l'autobus standard. Le trolleybus est silencieux et peu polluant comparé à l'autobus. Sa principale différence avec l'autobus est l'alimentation en énergie qui est électrique.

Pour informations, une motorisation hybride permet une réduction de la consommation en carburant des transports collectifs de 10 à 35%.

On observe d'autres bonnes pratiques en termes de développement durable. Par exemple, tous les véhicules du BusWay de Nantes roulent au gaz naturel comprimé et émettent de ce fait peu de pollution et de bruit. Aussi, Nancy a mis en place un système de priorité bus basé sur la communication entre le SAE et le PC trafic depuis 1982. Cela a engendré une réduction d'environ 2,2% de la consommation énergétique de l'ensemble du réseau (STIF (juin 2001), *Guide technique des systèmes de priorité bus aux carrefours à feux*).

Des caractéristiques générales complémentaires des différents systèmes figurent en annexes (cf annexe 4 page 92).

Une boîte à outils récapitulant les résultats des différents systèmes de transport en fonction des divers indicateurs évoqués précédemment figure en annexe 5 page 93. Cet outil a notamment servi à l'élaboration des préconisations décrites dans la partie IV de ce mémoire.

III- L'émergence de nouveaux critères de choix

Pour un client, l'attractivité d'un réseau de transport dépend également des services proposés, qui rendent l'usage des transports collectifs plus agréable, lisible, précis, pratique. L'exploitant doit aussi trouver son intérêt dans la manière d'organiser le réseau.

Le tableau ci-dessous illustre le contenu de cette partie sur les nouveaux critères de choix, à savoir des retours d'expériences de différentes villes sur des services innovants.

Tableau 30 : Plan de la partie III (Réalisation : Manon THURET, 2012)

	Nouveaux critères de choix			
	Sociologie	Information	Billettique	Voyageurs + Marchandises
Retours d'expériences des villes /pays suivants :	Rome, Nantes, Grenoble, Rouen, Strasbourg	Belfort, Paris	Rennes, Montpellier, Strasbourg, Pays-Bas, Allemagne, Australie, Dubaï	Amsterdam, Dresde (Allemagne), Paris

1- Sociologie

a- Culture région

Les mentalités évoluent. Les transports collectifs doivent s'adapter en conséquence et innover.

Le fait que le tramway intègre des agglomérations de moins de 300 000 habitants à partir de 2001 telles que Montpellier et Orléans et que le concept de BHNS émerge parallèlement, a poussé les villes à se concentrer sur les TCSP de surface. Les agglomérations, malgré leur taille, ont aujourd'hui tendance à vouloir leur tramway par effet mode.

Dans certaines agglomérations, les habitants sont habitués au tramway dans les villes alentours et verraient le bus comme une version dégradée du tramway, en quelque sorte un tramway au rabais. Le bus n'a alors guère d'attractivité dans ces cas-là. Cependant, le projet « European Bus System of the Future » a été lancé à Rome en 2008, et donne une véritable deuxième chance au bus urbain européen.

b- Culture tramway

Dans les années 80, l'Etat réintroduit la « culture tramway » en le mettant de nouveau en place dans quelques grandes villes françaises (Nantes en 1985, Grenoble en 1987, Rouen et Strasbourg en 1994). Ces projets provoquent l'engouement des habitants car sont vecteurs de renouvellement urbain.

De plus, l'image moderne du tramway est accentuée par son large choix de revêtement de surface (pavés, gazon,...). Les rails permettent quant à elles une lisibilité du système.

Cependant, la « culture tramway » n'est pas unanime. A Rouen par exemple, le BHNS Teor a fait ses preuves et est préféré au tramway par les usagers. Ces deux systèmes obtiennent réciproquement des notes de 16,2/20 et 15,7/20 par les clients (Certu (septembre 2009), Tramway et BHNS en France : domaines de pertinence en zone urbaine, *Revue Transports/Environnement/Circulation*, n°203).

2- Information voyageurs

a- En temps réel

Selon le groupe Keolis, près de 2/3 des clients de transport collectif ont des difficultés à se repérer avec les plans et les horaires. Les clients de transport public sont demandeurs de diverses informations accessibles à tout moment et en temps réel, tels calculateurs d'itinéraires, horaires, perturbations, plans, tarifs et points de vente,... (<http://www.veolia-transport.com/fr/solutions/intelligence-deplacements/informlation-temps-reel/>).

Procurer ce genre d'informations aux voyageurs est un élément important de la qualité de service et rend les transports en commun attractifs.

Le réseau de bus Optymo de Belfort a développé une application pour Smartphone. Celle-ci permet de localiser les bus, de connaître précisément l'heure auquel celui qui nous intéresse va arriver à son arrêt. Depuis janvier 2010, en Ile-de-France, la RATP a installé aux stations de bus et tramway des flashcodes. Ceux-ci donnent aux clients les horaires de passage des deux prochains véhicules en temps réel, sur leur mobile. Le principe est le suivant : il s'agit de prendre une photo avec son mobile du tag situé sur le panneau d'affichage de la station et les temps d'attente apparaissent sur l'écran. Aussi, l'utilisateur peut conserver dans ses favoris le lien donnant accès à cette information. Il pourra ainsi à nouveau la consulter en temps réel, quelque soit son emplacement. Ce service est utilisé par aujourd'hui 130 000 personnes. Il nécessite cependant d'être équipé d'un lecteur de flashcode, inclus dans plus de 70% des Smartphones français, et de disposer d'un forfait Internet mobile.



Figure bbb : Principe du Flashcode (Source : http://www.ratp.fr/fr/ratp/c_9420/flashcode-l-information-voyageurs-en-temps-reel/)

Actuellement, l'ensemble des stations bus et tramway est équipé. 20 000 flashcodes ont été déployés sur 11 000 stations (http://www.ratp.fr/fr/ratp/c_9420/flashcode-l-information-voyageurs-en-temps-reel/).

Danielle Gance, en charge du développement de services innovants, se déclare surprise du succès de cette opération lancée en 2010. En 2011, ce sont 566 000 accès au service par ces codes qui ont été

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

comptabilisés. Cet outil est à la fois utile pour le client et pour la RATP puisqu'il présente l'avantage de fournir des informations statistiques sur la fréquentation des lignes. La prochaine étape prévue réside dans le remplacement de ces flashcodes par des étiquettes NFC (Near Field Communication-Communication sans contact). Il s'agit d'une technologie de communication à courte distance (moins de 10-15 cm), sans contact, entre deux « objets ». Cette « signature » va être interprétée par le deuxième objet pour déclencher une action. Cela permettra d'informer, mais aussi d'acheter et valider les titres de transport. Ce système devrait être mis en place à Grenoble d'ici décembre 2014.

Il existe d'autres moyens pour fournir des informations en temps réel. Par exemple, un plan de ligne dynamique peut être installé à bord des véhicules. Celui-ci indiquerait la localisation du véhicule le long de l'itinéraire. Ceci a le grand avantage de renseigner le voyageur sur la progression de son déplacement(<http://www.veolia-transport.com/fr/solutions/intelligence-deplacements/informlation-temps-reel/>).

A bord de plus de 1500 bus parisiens, la destination du véhicule, le prochain arrêt ainsi que le temps de parcours restant jusqu'au terminus sont diffusés en temps réel, visuellement et sous forme sonore.



Figure ccc : Informations en temps réel concernant le trajet en cours à bord d'un véhicule parisien

(Source : RATP)

Aussi, un système d'envoi de SMS personnalisé en cas de perturbations a été lancé.

b- D'un point A à une action

Si l'on se projette dans l'avenir, il serait intéressant de mettre en place des systèmes d'informations aux stations qui ne décriraient plus seulement le trajet à réaliser pour se rendre d'un point A à un point B mais également celui pour se déplacer d'un point A à une action. Ainsi, il ne s'agirait plus de décrire son lieu d'arrivée mais plutôt son motif de déplacement. Il suffirait alors de renseigner, dans le système d'informations, que l'on souhaite par exemple aller voir tel film au cinéma et le dispositif proposerait plusieurs solutions et itinéraires à cette recherche.

3- Billettique

La billettique est un système de gestion automatisée des titres de transport. Elle utilise l'informatique et l'électronique et remplace ainsi les billets en format papier par des supports technologiques plus innovants tels que les tickets magnétiques, les cartes à puce,...

Au niveau des innovations, le bassin rennais a expérimenté comme systèmes de billettique les clés USB ainsi que les lecteurs de cartes à puce. En effet, la SNCF, la région de Bretagne, le conseil général d'Ile et Vilaine, Rennes métropole et Keolis Rennes se sont lancés dans l'achat et le rechargement d'abonnement Transport sur Internet. Les voyageurs ont le choix entre deux systèmes : le lecteur de carte à puce ou la clé USB sans contact. Ces deux dispositifs, une fois connectés à un ordinateur, se rechargent via les sites Internet de transport par carte bancaire.

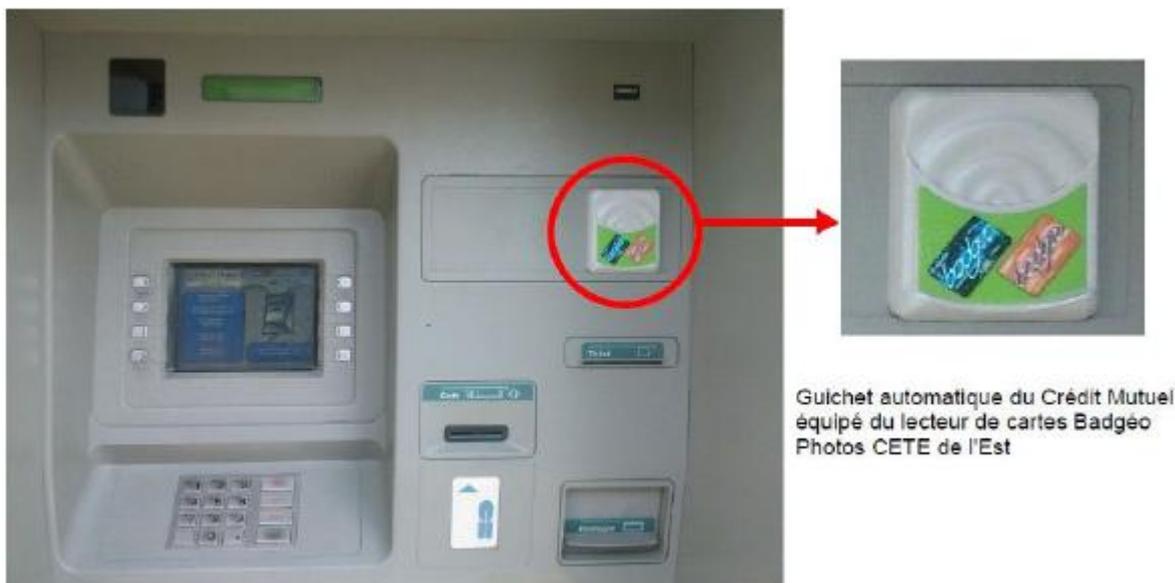


Figure ddd : La clé USB servant de support de titre de transport

Montpellier s'est également lancé dans la vente de titres par Internet (clé USB et carte à puce) en 2010 suite à une phase de tests auprès de 300 clients.

Ces outils ont le mérite d'être innovants et de faciliter la démarche du client (suppression des files d'attente en agence commerciale,...). Les tests le prouvent : 98.6% des voyageurs testeurs sont satisfaits.

A Strasbourg, les détenteurs de la carte de transport peuvent aussi la recharger sur les guichets automatiques bancaires. Cela est très avantageux lorsque l'individu se situe dans un secteur éloigné des automates de vente des stations.



Guichet automatique du Crédit Mutuel équipé du lecteur de cartes Badgéo
Photos CETE de l'Est

Figure eee : Guichet automatique du Crédit Mutuel équipé du lecteur de carte de transport (Source : CETE de l'Est)

Les retours des clients sur ce concept sont très positifs : 98% le jugent rapide, 96% le jugent facile, 86% déclarent qu'ils renouvelleront l'expérience. Le nombre de vente par ce biais a augmenté au fur et à mesure : 60 transactions en janvier 2008, 200 en mai, 1000 en juin 2009.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Dans le Territoire-de-Belfort, le prélèvement automatique est proposé aux clients comme mode de paiement. Le principe est simple : le client circule à sa guise avec sa carte à puce sur le réseau et reçoit, le 10 de chaque mois, une facture correspondant à ses déplacements effectués le mois précédent. Celle-ci peut être payée jusqu'au 30 du mois, par prélèvement automatique ou directement en agence commerciale en espèces. Quatre ans après la mise en place de ce service, sur une population de 140 000 habitants, 47 000 clients sont en possession de la carte du réseau Optymo, dont les deux tiers ont choisi le prélèvement automatique.

Belfort est même allé jusqu'à ne plus accepter la vente des titres à bord des bus. Voici ci-dessous la campagne de communication annonçant cet événement.

Le post-paiement s'est accompagné d'une grande simplification de la gamme tarifaire (passage de 75 tarifs différents à moins de 10), ainsi que d'une baisse des tarifs. Un an plus tard, on dénombre près d'un million de voyageurs supplémentaires, soit une augmentation de 25%. Ces chiffres sont équivalents à ceux que l'on peut observer après la mise en place d'un tramway. La différence est que la mise en place d'un tramway coûte beaucoup plus chère...

Belfort est très engagé dans les projets innovants relatifs au paiement. Ainsi, d'autres réflexions sont en cours, tels l'achat de titres de transport par SMS ou encore le paiement en ligne,... (<http://www.billetique.fr>).



Figure fff : Publicité pour la fin de vente des titres à bord (Belfort, mai 2007)

Depuis 1992, les Pays-Bas disposent d'une information multimodale nationale pour tous les transports en commun. L'information est fiable et en temps réel. Une billettique commune est en cours. Cela permet de faciliter l'usage des transports collectifs pour les usagers et ainsi une mise en concurrence encore plus forte de l'automobile avec les transports en commun.

Beaucoup d'autorités organisatrices de transport françaises réfléchissent à mettre en œuvre ce même système. Les Hauts-Normands ont fait le choix d'une billettique commune à tous les réseaux de transport des 15 autorités organisatrices. Ce nouveau concept sera mis en place fin 2014 sur l'ensemble du territoire régional. 20 000 cartes sont d'ores et déjà en circulation sur le réseau TER.

Le transport doit s'intégrer dans la vie quotidienne. L'un des leviers pour cela est la billettique. Par exemple, en Allemagne, un billet peut être utilisé à la fois pour le métro, le train, le bus, mais aussi pour les remontées mécaniques de ski. En Australie, l'achat d'un abonnement de transport collectif offre des réductions dans les commerces ainsi qu'un abonnement à un journal quotidien local. En Gironde, l'abonnement au réseau de transport est inclus dans le loyer des logements étudiants.

En termes de tarification, celle-ci se fait en fonction de la distance parcourue à Dubaï, ce qui engendre un pointage à l'entrée et à la sortie du métro. L'inter-modalité est assurée avec des connexions bus (qui elles ne sont pas comptabilisées en distance parcourue, ce qui signifie qu'avec un trajet métro, on peut ensuite prendre le bus gratuitement).

4- Tramway voyageurs et marchandises

Paris a expérimenté le « tramway fret ». En effet, la ligne 3 a fait circuler des rames de tramway destinées à transporter des marchandises avec en tête du tramway l'annonce « Ce tramway ne prend pas de voyageurs ».

Cette opération vise à réduire le trafic de camions de marchandises dans la capitale. Car en effet, un million de livraisons sont effectuées quotidiennement en Ile-de-France dont 90% par la route.

Deux rames ont été consacrées à cette opération, deux fois par jour, en-dehors des heures de pointe, de manière à perturber le moins possible le transport de personnes. De plus, les rames de fret ont été intercalées entre deux rames destinées aux voyageurs.

Si l'opération est concluante, l'idée pourrait se répandre sur des rames supplémentaires d'ici 2013 ou 2014. Différents points sont encore à l'étude, à savoir quel matériel, sur quelle distance, ou encore à quel endroit décharger.

La plus grande inquiétude concerne les ruptures de charge. Celles-ci doivent être évitées malgré le fait de devoir décharger les marchandises près des commerces. Des raccordements seront peut-être créés pour acheminer les marchandises jusqu'aux entrepôts.

L'expérience a également été menée à Amsterdam. Le projet ne s'est pas avéré rentable. De ce fait, il a été mis en suspens mais n'a pas été abandonné pour autant. Aussi, à Dresde, en Allemagne, un même projet s'est avéré être une réussite mais l'explication tient sans doute au fait qu'il n'y ait qu'une seule usine desservie. Le concept était beaucoup plus simple à mettre en place (<http://www.innovcity.fr/2011/11/16/livraisons-marchandises-paris-experimente-tramway-fret/>).

Plus précisément, voici ci-contre, le concept opéré à Dresde.

Les tramways sont bleus pour la livraison de marchandises, jaunes pour les voyageurs. Le « CarGo-Tramway » transporte des pièces auto détachées pour l'usine Volkswagen. Il circule 7 fois par jour. Chaque tramway peut transporter jusqu'à 60 tonnes de matériel, contrairement à un camion qui ne peut en livrer que 20 ((Février-mars 2012), Ile de France-FRET-Les marchandises prennent le tramway, *Le Monde*, n°39).



Figure ggg : Tramway-fret à Dresde, en Allemagne (Source : *Le Monde*, février-mars 2012)

IV- Préconisations en fonction des différents types de ville

Ce mémoire vise à pouvoir orienter chaque cas dans un choix de TCSP qui lui conviendra le mieux. Pour cela, il convient à la fois de respecter les lois/normes techniques et d'adapter les préconisations en fonction des contraintes du cas étudié.

1- Rappel de quelques lois et normes techniques

a- Lois

Suite à l'augmentation de la mobilité et l'invasion de l'automobile, la compétition pour l'espace fait de plus en plus partie des enjeux politiques.

Face à cela, la loi SRU (Solidarité et Renouvellement Urbain) de décembre 2000 place l'agglomération au cœur du développement urbain. L'engagement est pris de diminuer fortement l'espace consacré à l'automobile au profit des autres modes de transport.

Aussi, le protocole de Kyoto, traité international de décembre 1997, vise à réduire l'émission des gaz à effet de serre.

Quant à la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie de décembre 1996, elle prévoit notamment des actions en faveur des véhicules propres et économes en énergie. Des dispositions des pouvoirs publics encouragent naturellement l'usage des transports publics, dont les bus électriques et hybrides.

Les bus électriques à batterie ou hybrides répondent bien au cahier des charges de telles applications. En effet, ils sont silencieux, n'émettent aucune pollution gazeuse localement s'ils fonctionnent en tout électrique pour les hybrides, et ne nécessitent aucune infrastructure d'alimentation complexe.

b- Prise en compte de l'inter-modalité

Il est nécessaire de toujours garder à l'esprit que les utilisateurs des transports collectifs sont aussi des piétons. Ainsi, pour que les transports en commun soient attractifs, il est indispensable de bien prendre en compte l'accessibilité piétons.



Figure hhh : Passage piétons proche d'une station tramway à Nantes

L'interaction avec les autres modes de transport est donc indispensable. En Suède, Pays-Bas, Royaume-Uni, l'inter-modalité avec le vélo notamment est fortement pratiquée. Cela a lieu dans pratiquement toutes les stations, ce qui renforce l'attractivité de la desserte.



Figure iii : Inter-modalité à Twente, Pays-Bas (Source : COST – BHNS- www.bhns.eu, Octobre 2011)

Il est également indispensable de prendre en compte les personnes à mobilité réduite, en application de la loi de février 2005. Cependant, selon les handicaps, les réponses en matière d'aménagement sont différentes. En effet, pour les personnes en fauteuil, il est préconisé 0 cm d'écart entre le quai et le transport en commun ; pour les personnes malvoyantes, il est préconisé 5cm...

c- Aménagement

En termes d'aménagement, avec une disposition de type bilatéral, il faut veiller aux accès riverains et livraisons. Pour cela, il est conseillé d'implanter une voie de desserte locale entre le tramway et les façades d'immeubles. Cette disposition présente donc des inconvénients.

La possibilité d'insertion de la plateforme dépend essentiellement du gabarit du véhicule.

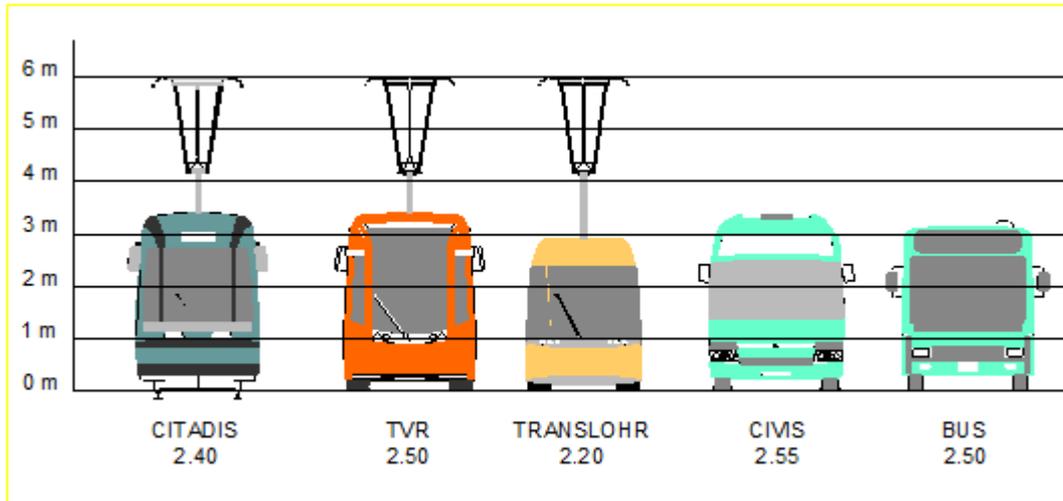


Figure jjj : Gabarit des différents systèmes

Les roues d'un tramway sur pneu sont guidées par 2 modules aux extrémités externes d'une armature. Celle-ci remplace l'essieu et permet ainsi un plancher bas intégral. Chaque module est doté de 2 galets inclinés à 45° par rapport au rail et 90° entre eux. Cette conception permet de saisir de manière efficace le rail et d'empêcher tout déraillement (Sophie Morhun-Master Génie Urbain- Université de Marne la Vallée, *La renaissance du tramway: L'émergence de nouvelles solutions techniques pour les besoins du transport urbain contemporain*).

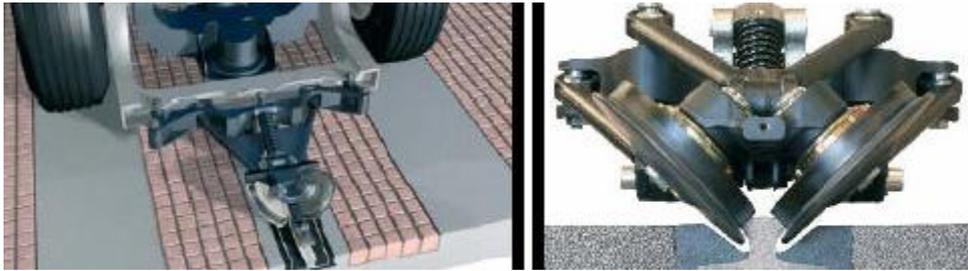


Figure kkk : Système de rail de guidage du Translohr (juin 2004)

Aussi, il faut savoir que rouler plus léger fait consommer moins. En effet, l'utilisation d'aciers moins denses et de nouvelles architectures constitue des leviers pour parvenir à cet objectif. A l'issue du projet Hynovis Concept en 2010, Iveco a réduit d'une tonne la masse d'un bus de 12m, tout en offrant 8% de places supplémentaires par rapport à un bus classique.

d- Sécurité routière

Selon le guide *Carrefours urbains, Sécurité des routes et des rues*, dans un giratoire, la largeur de la chaussée annulaire doit être constante. La visibilité doit être garantie, notamment sur une bande de 2m en périphérie du giratoire, ainsi que sur le quart gauche de l'anneau visible 10m avant.

De façon à expliciter le fait que tramway et giratoire soient associés, il est préférable de placer les 2 panneaux ci-contre sur un même support.



A 9 + AB 25

Figure III : Signalisation de l'association tramway/giratoire (Source : SEMITAN)

Lorsque le signal d'arrêt R24 est utilisé, il doit être obligatoirement associé au panneau C20c (voir photo ci-contre) et peut être accompagné en plus d'une mention « Rouge clignotant arrêt absolu ».



R 24 + M 9 z + C 20 c

Figure mmm : Signal d'arrêt (Source : SEMITAN)

Il est interdit, dans le cas de tramway, d'utiliser un signal de type R11j (Certu (2008), *Giratoires et tramways-Guide de conception*).

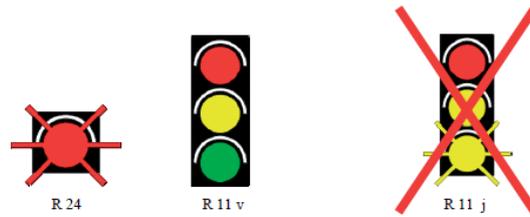


Figure nnn : Signaux autorisés ou interdits pour les tramways

Au niveau des intersections, on rencontre une concentration des conflits, à savoir des traversées piétonnes, de véhicules, de transport collectif,...

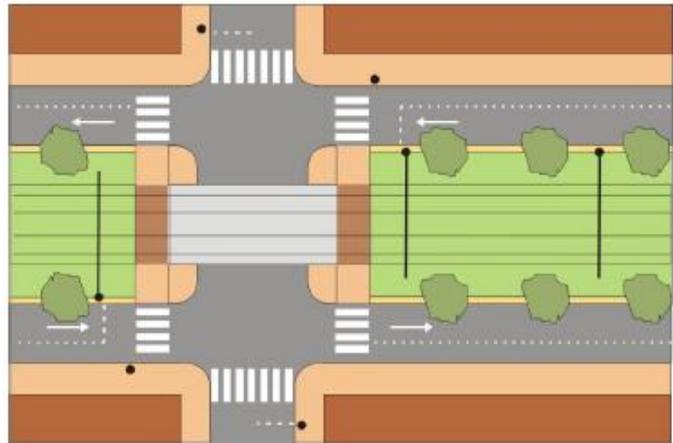


Figure ooo : Schéma de carrefour (Source : Certu)

Les tramways sont plus longs que les bus et de ce fait ont des contraintes plus fortes en termes de giration.

Le niveau de trafic va déterminer quel type de carrefour est le plus adapté. Au-delà de 1000 véhicules par jour, deux options sont possibles :

- Carrefour giratoire avec feux afin de gérer le TC,
- Carrefour à feux.

Cela permet de garder la main sur la circulation du TC.

La signalisation dynamique pour les piétons n'est pas obligatoire lorsque l'intersection se situe dans une zone 30. Le choix des revêtements est essentiel pour une meilleure lecture du giratoire. Un carrefour peut être sans feux sur les voies perpendiculaires au tramway lorsque la vitesse du tramway est très faible et la visibilité très bonne, lorsque le trafic est très faible, et lorsque l'entrée du site banalisé se fait par feux.

L'utilisation de répéteurs sonores pour les piétons malvoyants est obligatoire aux carrefours à feux selon le décret 2006-1658 sur projet neuf, depuis le 1^{er} juillet 2007 (D.Bertrand-Certu, *Partage de l'espace public et transports collectifs à haut niveau de service-Les transports collectifs et les carrefours*).

2- Etudes des variantes systématiques avec analyse multicritère

a- Les scénarios proposés

La matrice suivante expose l'ensemble des solutions envisageables dans le choix d'un TCSP, avec un exemple type associé à chacune des options possibles.

Tableau 31 : Ensemble des solutions envisageables dans le choix d'un TCSP (Réalisation : Manon THURET, 2012)

		Matériel roulant										
		Tram						Bus				
		Métrique	TFS	Sur fer classique	Court	Eco-tram	Sur pneu	BHNS	Guidé	Trolleybus	Articulé	Standard
Aménagement Site	Site propre	Exemple type : St-Etienne	Exemple type : Grenoble	Exemple type : Lyon	Exemple type : Avignon	Exemple type : Genève	Exemple type : Caen	Exemple type : Nantes	Exemple type : Rouen	Exemple type : Lyon	Exemple type : Utrecht (Pays-Bas)	Exemple type : Belfort
	Voie unique	Exemple type : Anvers (Belgique)	Exemple type : Grenoble	Exemple type : Montpellier	Exemple type : Avignon	Exemple type : Genève						
	Couloir bus										Exemple type : Lyon	Exemple type : Paris
	Site banalisé	Exemple type : Lisbonne	Exemple type : Nantes	Exemple type : Bordeaux	Exemple type : Avignon	Exemple type : Genève	Exemple type : Caen	Exemple type : Amsterdam	Exemple type : Douai	Exemple type : Lyon	Exemple type : Lyon	Exemple type : Belfort

Ainsi, on s'aperçoit qu'il existe tout un panel de variantes possibles, auxquels peuvent s'ajouter le type d'insertion (bilatérale, latérale, axiale), le type de carrefours (giratoires, à feux, sans feu), le type de station (à quais latéraux, à quais centraux) dont nous allons citer les principaux avantages et inconvénients dans la partie suivante.

b- L'évaluation de chaque scénario

Tramway métrique

Le tramway métrique se distingue par une plateforme plus mince et moins chère, une emprise au sol plus restreinte. Le produit est lui aussi sensiblement moins cher qu'un tramway standard. Enfin, il peut gravir une pente maximale plus élevée qu'un tramway fer ordinaire.

TFS

Le TFS a été concurrencé par la marque Citadis qui elle présente l'avantage d'être moins chère et à plancher bas intégral. Cette nouvelle marque peut également gravir des pentes maximales plus élevées qu'un TFS. Cependant, le TFS est design, performant, accessible et doté d'un niveau sonore extrêmement faible.

Tramway sur fer classique

Il a les avantages de disposer d'un plancher bas intégral, d'être bidirectionnel, de posséder chauffage et climatisation. Tous les tramways sont également beaucoup moins polluants que les bus et ont une durée de vie plus élevée. Ils bénéficient aussi tous d'un effet mode indéniable. Les infrastructures et les coûts restent lourds.

Tramway court

Son grand avantage réside dans son coût d'investissement moindre. Il est modulable : en effet, le matériel peut s'adapter aux potentialités du réseau. Il peut aussi gravir des pentes maximales plus importantes qu'un tramway standard. En revanche, sa capacité reste inférieure.

Eco-tramway

Il présente beaucoup d'avantages : emprise au sol inférieure à un tramway classique, plateforme plus simple à mettre en place et moins coûteuse qu'un tramway standard. Il peut gravir des pentes maximales plus élevées qu'un tramway ordinaire ; sa durée de vie est plus importante que celle d'un BHNS. Cependant, sa capacité est moins importante qu'un tramway, bien que plus élevée qu'un BHNS. Le prix du matériel est également plus élevé qu'un BHNS.

Tramway sur pneu

Son coût d'investissement est plus faible qu'un tramway fer classique et il peut franchir des pentes plus raides. Il a la possibilité de pouvoir assurer la maintenance dans les mêmes dépôts que ceux des bus. Il est bidirectionnel, à plancher bas intégral. Il présente cependant de nombreux inconvénients : seulement 2 constructeurs et l'abandon de la production par Bombardier, durée de vie inférieure qu'un tramway ferroviaire, possibilités de revêtement de plateforme moins diversifiées. A cela s'ajoutent ses nombreux déraillements.

BHNS

Le BHNS est plus rapide et plus fiable qu'un bus classique. Sa qualité de service est équivalente à celle d'un tramway. Les véhicules sont haut de gamme : portes centrales, climatisation,... Il peut être guidé ; sa flexibilité est meilleure qu'un tramway en cas d'incident de parcours. Ses coûts sont plus faibles que ceux d'un tramway. Il présente également un choix de fournisseurs développé. En revanche, ses inconvénients sont les suivants : une emprise nécessaire conséquente, il est soumis au code de la route, sa durée de vie est inférieure à celle du tramway, sa capacité est moindre, il est plus polluant. Enfin, son confort (accélérations, amortisseurs,...) est équivalent au bus standard et donc moins élevé qu'un tramway.

Bus guidé

Le guidage lui permet d'avoir une distance constante entre le véhicule et le quai et une bonne accessibilité pour les Personnes à Mobilité Réduite. Ses coûts sont inférieurs à ceux d'un tramway. Il peut gravir des pentes plus importantes que ne peut le faire un tramway fer. Cependant, il reste soumis au code de la route, sa durée de vie est inférieure à celle du tramway, sa capacité moindre, et il existe seulement 2 constructeurs sur le marché.

Trolleybus

Il présente de bonnes capacités d'accélération en pente. Il est également silencieux et peu polluant. Sa durée de vie est supérieure à celle de l'autobus, mais inférieure à celle d'un tramway. Il est moins flexible que l'autobus : en effet, il capte de l'énergie par ligne aérienne de contact fixe.

Bus articulé

Sa capacité est supérieure à celle de l'autobus standard. Ses coûts sont bien inférieurs au tramway et BHNS. Sa durée de vie est comparable à celle d'un bus standard et très inférieure au tramway.

Bus standard

Les atouts du bus standard résident dans sa simplicité, sa capacité à franchir des pentes raides, sa possibilité d'aménagements avec couloirs réservés aux bus et détecteurs de bus aux feux. Cependant, sa capacité est relativement faible, sa durée de vie bien inférieure à celle du tramway. Il est de plus soumis au code de la route.

Site propre

Les temps de parcours sont ainsi fortement réduits et les passages réguliers. L'efficacité de ce type d'aménagement dépend aussi fortement de la priorité accordée au TC aux carrefours et de la « franchissabilité » de la plateforme.

Voie unique

La voie unique génère des économies en matière d'infrastructure ainsi qu'une surface au sol diminuée. Elle nécessite cependant des voies d'évitement ; elle impacte peu la circulation automobile. La vitesse du tramway est amoindrie car les entrées de voie sont protégées par des feux. Enfin, l'exploitation est beaucoup moins souple au niveau des horaires, du cadencement,...

Couloir bus

Les retours d'expériences sont en général positifs. Le couloir bus permet en effet de gagner en vitesse et régularité. Cependant, les infractions des automobilistes sont nombreuses lorsque le couloir est seulement séparé de la circulation générale par un marquage au sol.

Site banalisé

Ce système est intéressant dans les secteurs très contraints en termes d'insertion. Le tramway peut conserver sa priorité grâce aux feux. Ce type d'aménagement a tendance à réduire le trafic automobile. Les conditions à la réussite de ce type d'insertion sont d'une part la priorité aux carrefours pour le tramway et d'autre part, des mesures pour limiter la circulation automobile. La vitesse du tramway se doit d'être inférieure pour permettre au tramway de pouvoir freiner sur une distance plus courte.

Insertion bilatérale

Le grand avantage est que les trottoirs peuvent aussi servir de quais. Cependant, ce type d'insertion présente des problèmes d'accessibilité pour les commerces et riverains situés côté site propre de part et d'autre de la rue.

Insertion latérale

On retrouve ici le problème d'accessibilité pour les commerces et riverains situés côté site propre. L'un des trottoirs peut servir de quai, ce qui a l'avantage de limiter la surface d'emprise au sol ; ce type d'insertion nécessite une rue un peu plus large qu'en insertion bilatérale.

Insertion axiale

Ce système a l'avantage de poser beaucoup moins de problèmes de circulation avec les rues débouchant sur la voie empruntée par le site propre. Cette insertion n'affecte pas les activités quotidiennes telles que le nettoyage, les ordures ménagères, les livraisons,... Elle ne pénalise pas non plus les entrées et sorties de garage. Le stationnement peut rester au contact de l'habitat et des activités. Aussi, cela permet la traversée de la rue en deux fois. Toutefois, elle nécessite une rue large puisque les quais s'ajoutent aux trottoirs. De plus, les clients du TCSP attendent dans un environnement routier.

Carrefours giratoires

Au-delà de 1000 véhicules par jour, 2 options sont envisageables : les carrefours giratoires à feux et les carrefours à feux. Un giratoire permet de modérer les vitesses et d'assurer la fluidité de la circulation. Il requiert cependant une grande emprise et les accidents sont fréquents. Il n'est pas possible de faire circuler un tramway sur un anneau car il présente des contraintes fortes en termes

de giration. Mais il peut circuler à travers l'anneau. Cela nécessite alors une importante signalisation et visibilité pour les automobilistes.

Carrefours à feux

Ils régulent les flux et permettent une certaine sécurisation. Ils ne nécessitent pas de lourds travaux d'infrastructure. Ils ont également le mérite d'offrir des temps de passage consacrés aux piétons. Les feux peuvent être dotés de système de priorité bus, ce qui engendre des temps de parcours diminués et une meilleure régularité. L'attente est toutefois parfois longue pour les automobilistes, ce qui peut engendrer des comportements frauduleux et dangereux.

Carrefours sans feu

Il n'est envisageable que lorsqu'il n'y a aucun problème de visibilité, un trafic faible et des vitesses modérées. La signalisation doit être conséquente en amont pour prévenir les automobilistes du fonctionnement du carrefour.

Stations à quais latéraux

Ce type de station permet de séparer le système de TCSP des autres systèmes. Cela requiert cependant une emprise au sol importante.

Stations à quais centraux

Son grand avantage réside dans son gain de place (1 à 2m). Cependant, on observe des problèmes de sécurité par manque de protection entre le TCSP et la voirie.

c- Elaboration de scénarios finaux

Comme nous l'avons vu précédemment, il existe une grande diversité de solutions envisageables lors de la mise en place d'un TCSP. Le champ des possibles est bien loin de se limiter aux seules alternatives tramway classique/BHNS. Ces alternatives s'avèrent tout aussi efficaces, et parfois bien moins chères.

Belfort est un exemple type puisque cette ville est parvenue à un niveau de fréquentation exemplaire avec des ressources pourtant limitées (c'est en effet le plus petit département de France). Belfort n'a pas opté pour de lourds travaux d'infrastructure mais a privilégié un service global. De gros progrès ont été fournis en termes d'informations voyageurs, billettique, communication, simplification de la gamme tarifaire, post-paiement, fréquence des bus. C'est ainsi que ce réseau de bus a connu une augmentation de fréquentation qu'aucun autre réseau n'a jamais obtenu : +25% en un an, + 80% en 4 ans.

L'autobus guidé TEOR est aussi un bel exemple de réussite. En effet, la satisfaction globale des usagers du réseau de Rouen (enquête 2004) s'est révélée supérieure dans le cas du TEOR (attribution d'une note moyenne de 16,2/20) que dans le cas du métro (15,7/20).

Une « simple restructuration » d'un réseau de bus peut également modifier et adapter de manière très efficace une offre de transport existante. Des gains considérables de fréquentation peuvent être atteints. Lyon a expérimenté ce concept. En 4 mois seulement, la fréquentation avait déjà augmentée de 7% (pour uniquement 6% d'offre en plus).

Il s'avère aussi qu'une combinaison de différents modes de TC moyennement « lourds », au sein d'un même réseau, peut s'avérer tout aussi performante et structurante qu'un mode lourd. En effet, il est possible de jouer sur la complémentarité et les atouts de plusieurs modes pour parvenir à un réseau de transport de qualité. Plusieurs réseaux de transport peuvent illustrer ces propos. Grenoble, en plus de son tramway, est parvenu à créer un autre axe structurant de son réseau, via le bus : priorités absolues accordées aux bus aux carrefours et couloirs bus. Aussi, Stockholm, pour faire face à une demande très abondante en transports collectifs, a opté pour une combinaison autobus/BHNS/tramway/métro, qui lui permet de proposer à ses clients un réseau étoffé et maillé. Enfin, Oberhausen, en Allemagne, a mutualisé ses infrastructures en créant une ligne forte de bus en tronc commun avec une ligne de tramway.

Aussi, un mode de transport peut subir une évolution, progressivement, en fonction de la fréquentation. Par exemple, le TEOR de Rouen détient une préfiguration/évolution possible vers le tramway. En effet, cette évolution n'est pas exclue techniquement même si elle n'est pas prévue pour l'instant. Il existe également une autre possibilité pour augmenter sa capacité, qui consisterait à le faire passer de 18 à 24 m. Enfin, des prolongements de lignes sont également en projet.

Certains scénarios sont malgré tout à préconiser selon la situation :

- Lorsque les possibilités d'insertion sont restreintes, on préconisera le tramway métrique, la voie unique, le site banalisé, l'insertion bilatérale, les carrefours à feux, les stations à quais centraux ;
- Lorsque les ressources financières sont limitées, on préconisera le tramway métrique, le tramway court, l'éco-tramway, le bus guidé, le bus avec couloirs réservés, la voie unique, les carrefours à feux ;
- Lorsque les contraintes géographiques imposent des pentes raides, on préconisera le tramway métrique, le tramway court, le tramway sur pneu, le bus ;
- Lorsque vitesse commerciale élevée et régularité sont attendues, on préconisera le site propre, la priorité aux carrefours, les couloirs bus ;
- Lorsque les risques d'accidents veulent être minimisés, on préconisera les stations à quais latéraux, les carrefours à feux, le site propre.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Pour finir, nous allons illustrer quelques exemples de profils en travers. Cela permettra de comparer le profil du tramway classique « à la française » avec ceux d'autres systèmes, qui ne sont bien sûr pas exhaustifs ici. Ces profils seront complétés par des données sur les coûts au kilomètre de ces concepts TC. Nous aurons ainsi un aperçu des économies (emprise au sol, financières) qu'il est possible de réaliser.

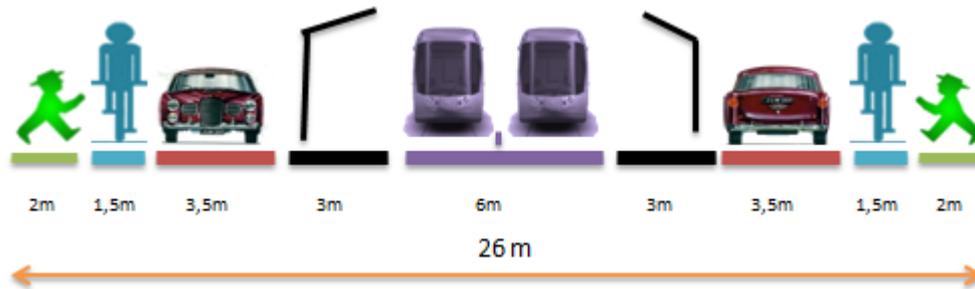


Figure ppp : Profil en travers-Tramway classique-Site propre-Quais latéraux-Insertion axiale (Réalisation : Manon THURET)

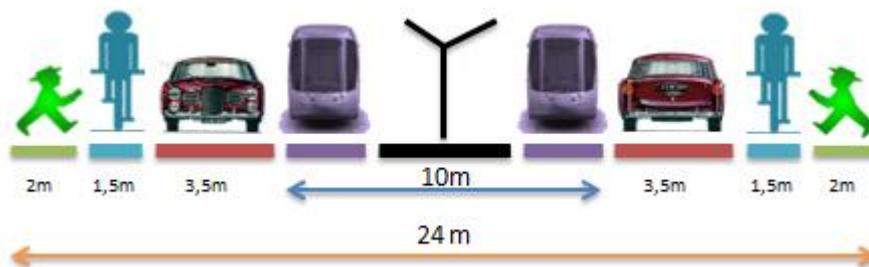


Figure qqq : Profil en travers-Tramway métrique-Site propre-Quais axiaux-Insertion axiale (Réalisation : Manon THURET)



Figure rrr : Profil en travers-Bus-Couloir réservé-Quais latéraux-Insertion bilatérale (Réalisation : Manon THURET)

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?



Figure sss : Coûts moyens TC des 2 premiers profils en travers ci-dessus



Figure ttt : Coûts moyens TC du troisième profil en travers ci-dessus

Ainsi, on s'aperçoit qu'il existe bel et bien des pistes d'économie, tant au niveau géographique qu'au niveau financier.

Chaque mode a son niveau de pertinence en fonction des densités de population, de la fréquentation attendue, des contraintes géographiques et des coûts. Plusieurs choix sont possibles, tant au niveau du véhicule, de l'infrastructure, de l'exploitation. Au terme de cette étude, certains scénarios se sont tout de même différenciés de par leur rapport qualité (performances techniques et commerciales)/prix : le tramway métrique, le bus guidé, le site propre, le couloir bus, ainsi que les carrefours à feux avec priorité accordée au TC.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Conclusion

Un nombre croissant de villes moyennes a fait le choix du BHNS qui apparaît comme une alternative performante au bus traditionnel et au tramway. Ainsi, le BHNS a certes le grand avantage d'être moins cher que le tramway, mais ce dernier reste toujours beaucoup plus attractif et efficace à long terme. On entend souvent en France que le BHNS coûte trois fois moins cher que le tramway mais l'analyse des coûts doit bien prendre en compte les coûts d'investissement, d'exploitation, intégrer la durée de vie des matériels roulants, sur le long terme.

Ainsi, pour répondre à la question « que choisir comme TCSP », il est essentiel d'avoir à l'esprit les éléments suivants :

- Une vision à long terme,
- Le rapport coût/demande,
- Une réflexion englobant tous les coûts (investissement, exploitation, renouvellement),
- La complexité de l'insertion urbaine compte tenu notamment de la réglementation.

Il est également essentiel de prendre conscience de la grande diversité de TC qu'il est envisageable de mettre en place, et ne plus se contenter des seules solutions : tramway classique/BHNS. Car en effet, un réseau peut opter par exemple pour des services annexes qui rendent l'usage des TC plus attractifs tels que l'information voyageurs, la billettique, la communication, la lisibilité. Un réseau peut également opérer une restructuration de son réseau de bus existant, ou bien encore combiner plusieurs modes afin de les rendre complémentaires et d'offrir ainsi un réseau étoffé et maillé.

La question n'est finalement pas de savoir lequel des modes il faut choisir, mais plutôt comment les faire cohabiter au mieux. Car en effet, le tramway, bien qu'extrêmement performant, ne peut atteindre seul l'un des objectifs du Grenelle de l'environnement, à savoir « *faire basculer 3 milliards de voyages par an de la voiture aux transports en commun* ». Selon le magazine *Ville Rail et Transports*, c'est plus de 6 fois le total de voyages effectués sur l'ensemble des tramways existants en 2009. Cela nécessiterait de créer 2500 nouveaux km de lignes. Etant donné que le kilomètre de ligne vaut environ 24 millions d'euros, cela entraînerait une dépense de l'ordre de 60 milliards d'euros. Cela est jugé irréalisable. La cohabitation bus/tramway permet, quant à elle, de profiter pleinement des avantages de ces deux systèmes.

La préconisation principale que l'on peut retenir est de toujours choisir son système de transport en fonction du niveau de service attendu mais aussi et surtout en fonction de l'insertion qu'il est possible de réaliser physiquement. Car en effet, les réseaux sont bien souvent soumis à des contraintes géographiques et financières. Pour pallier à cela, plusieurs leviers d'économie peuvent intervenir tels que le choix du véhicule, de l'infrastructure ou encore du système d'exploitation. Cette étude met notamment l'accent sur des systèmes peu ou mal utilisés, et qui pourtant ont largement fait leurs preuves en termes de rapport qualité/prix : le tramway métrique, le bus guidé, le couloir bus, les carrefours à feux avec priorités accordées au TC.

Aussi, comme le souligne Yves Ramette, Directeur général adjoint à la RATP, une nouvelle génération de matériel roulant, station, infrastructure arrive ; « *ces systèmes sont plus intelligents et plus ouverts sur la ville* ».

Bibliographie

Rapport d'étude ou de recherche

- Université de Marne-la-Vallée – MORHUN Sophie – Master Génie Urbain, *La renaissance du tramway : L'émergence de nouvelles solutions techniques pour les besoins du transport urbain contemporain*, Marne-la-Vallée
- SCE, *L'éco-tramway : Une alternative aux projets BHNS ? Proposition d'un modèle pour le territoire de Dunkerque*
- SCE (août 2011), *Proposition d'implantation d'une ligne de tramway métrique transfrontalière à subventionnement européen*
- SCE, *Développer un réseau de transports en commun performant*
- SCE, *Etude comparative des différents systèmes de transport*
- Systra (novembre 2004), *Les systèmes possibles pour le projet de transport de moyenne capacité de Barra Da Tijuca, Rio de Janeiro*
- Systra (juin 2005), *Coûts d'investissement et d'exploitation des TCSP et retours d'expériences sur les bus en site propre*
- Systra (juin 2004), *Etude de faisabilité d'une ligne pilote de tramway à Hanoi – Choix du tracé et du système de transport*
- SCE Montpellier (janvier 2012), *Tramway et BHNS – Insertion urbaine – Les grands principes d'aménagement pour le tramway et le BHNS : Quelques cas d'application contrastés, en France et à l'étranger*
- SCE – François Le Jeune (janvier 2012), *Tramway et BHNS – Insertion urbaine – Cadre réglementaire et signalisation liés aux TC*
- SCE, *Partage de l'espace public et transports en commun à haut niveau de service – Les carrefours en milieu contraint*
- Certu – D.Bertrand, *Partage de l'espace public et transport collectif à haut niveau de service – Espace public et prise en compte des différents usagers dans les aménagements*
- Certu – D.Bertrand, *Partage de l'espace public et transports collectifs à haut niveau de service – Les transports collectifs et les carrefours*
- Master TURP – Séverine Escolan (2008), *Diagnostic et propositions de réaménagement du pôle bus du centre d'échanges de la Part-Dieu*
- Master TURP – Sella Romain (2005), *La restructuration d'un réseau de transports urbains en Ile-de-France*
- Certu – STRMTG (2008), *Giratoires et tramways – Guide de conception*
- Certu (2009), *Le profil en travers, outil du pilotage des voiries urbaines – Une voirie pour tous*
- Inputs TTK (janvier 2012), *Rapport Tramway Avignon – Etudes préliminaires*
- Ministère des Transports (novembre 2002), *La voirie urbaine, un patrimoine à réhabiliter – Rapport définitif*
- Les cahiers de l'institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Ile-de-France (2^{ème} trimestre 2000), *Les Transports dans les grandes métropoles*, n° 127, Ile-de-France

- Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile de France (avril 2009), *La place des bus dans les transports collectifs de Londres, Ile-de-France*
- Master TURP-Romain Mouget (2006), *Gestion de projets de transports publics : le besoin de management de l'innovation*
- Master TURP-Marion Rivoire (2008), *Les TCSP en France*
- Agence métropolitaine de transport-Richard Bergeron, Responsable des analyses stratégiques (janvier 2003), *Le nouveau tramway – Contribution à la réflexion en cours concernant un possible retour du tramway dans les rues de Montréal*
- STIF (juin 2001), *Guide technique des systèmes de priorité bus aux carrefours à feux*
- Egis-Cours Master TURP, *Amélioration des performances des bus : les systèmes de priorité aux feux – Ingénierie du trafic et des systèmes d'exploitation*
- COST – European Science Foundation (octobre 2011), *BHNS : Caractéristiques fondamentales et recommandations pour les décideurs et la recherche*
- European Commission under the seventh framework programme for research and development – Coordinator : International Association of Public Transport (26 mars 2010), *European Bus System of the Future System Definition – 1st year project compendium*
- Syndicat Mixte des Transports en Commun du Territoire de Belfort, *Transports publics, La révolution douce*
- Les cahiers de l'institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Ile-de-France (2^{ème} trimestre 2000), *Les Transports dans les grandes métropoles, n° 127*
- Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles, *Tramway, Bus : Manuel des bonnes pratiques pour un réseau performant*
- Union des transports publics et ferroviaires (édition 2009), *Les chiffres clés du transport public urbain 2008*
- Dossier de presse Atobus
- Certu-Cécile Clément, *Entre bus et tramway – Les bus à haut niveau de service*
- Certu et CETE de Lyon (décembre 2007), *Panorama des villes à transports publics guidés, Lyon*
- Certu-CETE, *Calcul des émissions de CO² des systèmes de BHNS et des tramways – Enseignements des appels à projets TCSP et préconisations*
- Certu – Sébastien Rabuel – Chargé de projets transports publics (novembre 2009), *Colloque « Vers un aménagement durable des territoires », Bayonne*
- Département des Constructions et des Technologies de l'Information (juillet 2000), *Dynamique et cinématique – Directives techniques pour tramway*
- Annemasse Agglomération, *Dossier de concertation – Concertation BHNS-Concertation Tramway*
- Sytral, *Evaluation socio-économique du prolongement de la ligne de tramway T4 de Lyon - Dossier d'enquête préalable à la DUP*
- Communauté d'agglomération d'Antibes – Sophia Antipolis (mai 2012), *Bus-Tramway Antibes-Programme d'aménagement-Etude socio-économique*
- Agglomération bordelaise, *3^{ème} phase du tramway – évaluation socio-économique, Pièce n°7, Bordeaux*

Magazines/Revue

- (Mai 2012), 10 solutions pour améliorer la mobilité, *Ville Rail et Transports*
- (Juin 2012), Dijon-Besançon, *Le moniteur des travaux publics et du bâtiment*, n°5664
- (Février-Mars 2012), Ile-de-France-FRET-Les marchandises prennent le tramway, *Le Monde*, n° 39
- (Mai 2010), BHNS, quand le bus se fait tramway, *Ville et Rail Transports*
- Certu (septembre 2009), Tramway et BHNS en France : domaines de pertinence en zone urbaine, *Transport/Environnement/Circulation*, n°203

Sites Internet

- « [En ligne], <http://www.gart.org> – consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Transport voyageurs et marchandises [en ligne], <http://www.innovcity.fr/2011/11/16/livraisons-marchandises-paris-experimente-tramway-fret/> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Information voyageurs [en ligne], <http://www.veolia-transport.com/fr/solutions/intelligence-deplacements/informlation-temps-reel/> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Information voyageurs [en ligne], <http://www.stif.info/les-transport-s-aujourd-hui/les-programmes-amelioration-qualite-service/information-voyageurs/68.html> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Information voyageurs [en ligne], http://www.ratp.fr/fr/ratp/c_9420/flashcode-l-information-voyageurs-en-temps-reel/ - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Couloirs bus [en ligne], <http://www.caradisiac.com/Apres-le-peripherique-Paris-s-attaque-aux-couloirs-de-bus-49041.htm> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Couloirs bus [en ligne], <http://bus38.online.fr/couloirs.html> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Tramway Avignon [en ligne], <http://www.grandavignon.fr/travaux-et-projets/projets/un-embleme/un-tramway-adapte/> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Tramway court [en ligne], http://www.mobilicites.com/fr_actualites_aubagne-choisi-un-tramway--compact-_0_77_1287.html - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Tramway Besançon [en ligne], http://www.besancon.fr/gallery_files/site_1/1071/39067/tramway_supplement_gbm41.pdf - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Restructuration de réseau [en ligne], http://www.paysvoironnais.com/fr/IMG/pdf/Action_2.pdf - consulté le 1^{er} semestre 2012 »

- « Billettique [en ligne], http://www.certu.fr/fr/_Systèmes_de_transports-n26/Intermodalité-n80/Billettique-n82/Mise_en_ligne_du_site_internet_dedie_aux_systemes_billettiques_dans_les_transports_collectifs-a1522-s_article_theme.html - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Billettique [en ligne], <http://www.billettique.fr> – consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Billettique [en ligne], <http://www.veolia-transport.com/fr/solutions/intelligence-deplacements/billettique/> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Tramway court [en ligne], <http://www.alstom.com/transport/fr/produits-et-services/materiel-roulant/tramway-citadis-compact/> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Aménagement stations [en ligne], <http://www.greenunivers.com/2009/04/stations-recharge-solaire-voitures-electriques-4938/> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Tramway Caen [en ligne], http://www.ouest-france.fr/actu/actuLocale_-Caen.-Une-rame-de-tramway-perd-un-moteur-sur-la-voie_40780-2093437-----14118-aud_actu.Htm - consulté le 2^{ème} semestre 2012 »
- « BHNS [en ligne], <http://www.bhns.fr> – consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « [En ligne], <http://www.innovations-transport.fr> – consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « [En ligne], <http://www.mobilicites.com> – consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Transports publics de Genève [en ligne], http://www.etat.geneve.ch/dt/mobilite/transports_publics-754-3823.html - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Tramway Dubaï [en ligne], <http://www.urbanews.fr/2011/04/13/13038-dubai-le-projet-du-tramway-est-relance-ouverture-est-prevue-en-2014/> - avril 2011 – Dubaï : le projet du tramway est relancé, ouverture prévue en 2014 – consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Transports High-Tech [en ligne], <http://www.industrie-technologies.com> – consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Tramway Français Standard [en ligne], <http://www.metro-pole.net/expl/materiel/tfs/> - consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « [En ligne], <http://developpement-durable.gouv.fr> – consulté le 1^{er} semestre 2012 »
- « Transports collectifs à Nantes [en ligne], <http://www.nantesmetropole.fr/decouverte/les-projets-phares/fiche-39677.kjsp> - consulté le 2^{ème} semestre 2012 »

Table des matières

Fiche bibliographique	2
Publication data form	3
Remerciements	4
Sommaire	5
Introduction.....	7
I- Retours d’expériences de réseaux français et étrangers	13
1- Matériel roulant	13
a- Bus	13
b- Tramway	19
2- Aménagement	25
a- Site propre	26
b- Site partiel/partagé/mixte.....	27
c- Site banalisé.....	28
d- Voie unique	29
e- Couloirs bus	30
f- Insertion	31
3- Exploitation.....	35
a- SLT (Signalisation Lumineuse Tricolore)	35
b- Stations.....	41
c- Restructuration.....	42
II- Indicateurs de performance	45
1- Longueurs des lignes	45
2- Coûts moyens	46
3- Capacité	47
4- Vitesse commerciale	49
5- Rapport densité de population/mode/fréquentation	51
6- Fréquence.....	54
7- Fiabilité	55
8- Trafic automobile	56
9- Report modal/Gain de clientèle	57
10- Développement durable.....	58
III- L’émergence de nouveaux critères de choix.....	59

1-	Sociologie	59
a-	Culture région.....	59
b-	Culture tramway.....	59
2-	Information voyageurs	60
a-	En temps réel.....	60
b-	D'un point A à une action.....	61
3-	Billettique	62
4-	Tramway voyageurs et marchandises	64
IV-	Préconisations en fonction des différents types de ville	65
1-	Rappel de quelques lois et normes techniques.....	65
a-	Lois.....	65
b-	Prise en compte de l'inter-modalité.....	65
c-	Aménagement	66
d-	Sécurité routière.....	67
2-	Etudes des variantes systématiques avec analyse multicritère	69
a-	Les scénarios proposés.....	69
b-	L'évaluation de chaque scénario	69
c-	Elaboration de scénarios finaux	72
	Conclusion	77
	Bibliographie.....	78
	Rapport d'étude ou de recherche	78
	Magazines/Revue.....	80
	Sites Internet	80
	Table des matières	82
	Table des figures.....	84
	Table des tableaux.....	86
	Table des annexes	87
	Annexes	88
1-	1 ^{ère} annexe : Les TCSP en France	88
2-	2 ^{ème} annexe : Tramways métriques.....	90
3-	3 ^{ème} annexe : Tramways en voie unique	91
4-	4 ^{ème} annexe : Comparaison des différents systèmes	92
5-	5 ^{ème} annexe : Matrice récapitulative des indicateurs.....	93

Table des figures

Figure a : Tramway de Rotterdam (2002)	9
Figure b : Tramway de Montpellier.....	9
Figure c : Tramway de Milan (Source : Pierre-Henri Deplanne).....	9
Figure d : Bus bi-articulé à Utrecht (Source : Certu)	14
Figure e : Civis à Rouen et Phileas à EinDhoven.....	15
Figure f : Bus guidé de Rouen.....	16
Figure g : Bus tri-articulés en site propre de Curitiba (BRT).....	18
Figure h : Le "O-Bahn" à Mannheim, en tronc commun avec le tramway (Source : http://www.bhns.fr).....	19
Figure i : Système de guidage "O-Bahn" (Source : http://www.bhns.fr)	19
Figure j : Infrastructure "O-Bahn" (Source : http://www.bhns.fr)	19
Figure k : Tramway classique et tramway court	21
Figure l : L'éco-tramway Tango de Stadler fabriqué par les Transports Publics Genevois.....	23
Figure m : Tramway sur pneu sans rail de guidage	23
Figure n : Le TVR de la ville de Caen (Source : Sophie Morhun, <i>La renaissance du tramway</i>).....	24
Figure o : Passage du mode non-guidé au mode guidé du TVR (Source : Sophie Morhun, <i>La renaissance du tramway</i>).....	24
Figure p : Tramway sur pneu avec guidage par rail (Source : Sophie Morhun, <i>La renaissance du tramway</i>)	25
Figure q : Temps de parcours avec et sans bande réservée aux bus, à Bruxelles (Source : Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles, <i>Tramway, Bus : Manuel des bonnes pratiques pour un réseau performant</i>).....	26
Figure r : Non-respect du site réservé au tramway (Source : Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles, <i>Tramway, bus : Manuel des bonnes pratiques pour un réseau performant</i>).....	27
Figure s : Respect du site réservé au bus (Source : http://www.bhns.fr/IMG/pdf/SitePropre_Aix_VF.pdf)	27
Figure t : Site partagé tramway/bus (Source : Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles, <i>Tramway, bus : Manuel des bonnes pratiques pour un réseau performant</i>)	28
Figure u : Ecluse (Source : STIB)	28
Figure v : Rue du Poitou, Nantes - Tramway en site banalisé (Source : Street-View).....	28
Figure w : Avenue Emile Counord, Bordeaux - Tramway en site banalisé (Source : Street View)	28
Figure x : Tramway de Berne en site banalisé.....	29
Figure y : Tramway de Montpellier en voie unique	29
Figure z : Voie unique/Voie double (Source : Inputs TTK (janvier 2012), Rapport Tramway Avignon-Etudes préliminaires)	30
Figure aa : Voie d'évitement en station à Valenciennes (Source : http://www.siturv.fr)	30
Figure bb : Couloir de bus de Paris.....	30
Figure cc : Insertion tramway/BHNS (Source : Cours Master TURP 2011-Egis)	31
Figure dd : 3 types d'insertion.....	31
Figure ee : Quais latéraux en site central (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail)	32
Figure ff : Quais latéraux en site latéral (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail).....	32
Figure gg : Largeur d'emprise en fonction des types de quais	33
Figure hh : Station à quai central	33
Figure ii : Implantation de la voie tramway (Source : http://www.siturv.fr)	33
Figure jj : Insertions urbaines.....	34
Figure kk : Insertion urbaine à Barcelone (Source : Busways and Light Rail/Modern Tramways-Can they be compared ? by Carmen Hass Klau).....	34
Figure ll : Affectation variable d'un site propre à Lyon (Source : Street View)	34
Figure mm : Entrée du site propre bus protégée par une barrière (Source : Street View).....	35

Figure nn : Représentation d'un système de priorité bus à un carrefour avec une grande partie des équipements intégrée au bus (Source : STIF (juin 2001), Guide technique des systèmes de priorité bus aux carrefours à feux).....	36
Figure oo : Représentation d'un système de priorité bus à un carrefour avec une grande partie des équipements intégrée aux infrastructures routières (Source : STIF (juin 2001), Guide technique des systèmes de priorité bus aux carrefours à feux).....	36
Figure rr : BusWay de Nantes traversant un giratoire	39
Figure pp : Tramway de Nantes traversant un giratoire.....	39
Figure qq : Tramway de Szeged en Hongrie traversant un giratoire.....	39
Figure ss : Cheminement piéton servant de quai à Saint-Etienne	41
Figure tt : Coût d'investissement rapporté au km d'infrastructure (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail)	46
Figure uu : Charges par kilomètre parcouru (Source : Certu-GART-UTP)	47
Figure vv : Capacité des véhicules (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail)	48
Figure ww : Capacité maximale des matériels (Source : Certu).....	48
Figure xx : Bus en site propre de Sao Paulo	48
Figure yy : Vitesse commerciale (Source : Cours Master TURP 2011 -Egis Rail)	50
Figure zz : Lien entre population et mode de transport (Source : INSEE-Certu-GART-UTP).....	51
Figure aaa : Réduction des voies automobiles.....	56
Figure bbb : Principe du Flashcode (Source : http://www.ratp.fr/fr/ratp/c_9420/flashcode-l-information-voyageurs-en-temps-reel/)	60
Figure ccc : Informations en temps réel concernant le trajet en cours à bord d'un véhicule parisien.....	61
Figure eee : Guichet automatique du Crédit Mutuel équipé du lecteur de carte de transport (Source : CETE de l'Est).....	62
Figure ddd : La clé USB servant de support de titre de transport.....	62
Figure fff : Publicité pour la fin de vente des titres à bord (Belfort, mai 2007)	63
Figure ggg : Tramway-fret à Dresde, en Allemagne (Source : Le Monde, février-mars 2012).....	64
Figure hhh : Passage piétons proche d'une station tramway à Nantes	65
Figure iii : Inter-modalité à Twente, Pays-Bas (Source : COST – BHNS- www.bhls.eu , Octobre 2011).....	66
Figure jjj : Gabarit des différents systèmes.....	66
Figure kkk : Système de rail de guidage du Translohr (juin 2004).....	67
Figure III : Signalisation de l'association tramway/giratoire (Source : SEMITAN)	67
Figure mmm : Signal d'arrêt (Source : SEMITAN).....	67
Figure nnn : Signaux autorisés ou interdits pour les tramways	68
Figure ooo : Schéma de carrefour (Source : Certu).....	68
Figure ppp : Profil en travers-Tramway classique-Site propre-Quais latéraux-Insertion axiale (Réalisation : Manon THURET).....	74
Figure qqg : Profil en travers-Tramway métrique-Site propre-Quais axiaux-Insertion axiale (Réalisation : Manon THURET)	74
Figure rrr : Profil en travers-Bus-Couloir réservé-Quais latéraux-Insertion bilatérale (Réalisation : Manon THURET)	74
Figure sss : Coûts moyens TC des 2 premiers profils en travers ci-dessus.....	75
Figure ttt : Coûts moyens TC du troisième profil en travers ci-dessus.....	75
Figure uuu : Longueur cumulée des infrastructures depuis 1974 (Source : Egis Rail)	88
Figure vvv : Nombre de kilomètre mis en service chaque année (Source : Certu)	89
Figure www : Part des modes dans les kilomètres parcourus et les voyages (Source : Certu-GART-UTP).....	89

Table des tableaux

Tableau 1 : Plan de la partie I-1 (Réalisation : Manon THURET, 2012)	13
Tableau 2 : Comparaison du bus standard et du bus articulé.....	14
Tableau 3 : Comparaison du Civis et du Phileas	16
Tableau 4 : Enquête de satisfaction auprès des usagers du réseau de Rouen (Agglomération de Rouen, 2004)	16
Tableau 5 : Eléments de comparaison tramway classique/éco-tramway (Source : L'éco-tramway : une alternative aux projets BHNS ? Proposition d'un modèle pour le territoire de Dunkerque – SCE).....	22
Tableau 6 : Eléments de comparaison BHNS articulé/éco-tramway (Source : L'éco-tramway : une alternative aux projets BHNS ? Proposition d'un modèle pour le territoire de Dunkerque-SCE).....	23
Tableau 7 : Comparaison du TVR et du Translohr	25
Tableau 8 : Plan de la partie I-2 (Réalisation : Manon THURET, 2012)	26
Tableau 9 : Caractéristiques d'insertion des différents systèmes.....	33
Tableau 10 : Plan de la partie I-3 (Réalisation : Manon THURET, 2012)	35
Tableau 11 : Comparaison des technologies de détection (Source : Egis Mobilité)	37
Tableau 12 : Caractéristiques de stations de tramway	42
Tableau 13 : Caractéristiques de stations de bus en site propre	42
Tableau 15 : Longueur moyenne des lignes (Source : Les TCSP en France - Rivoire Marion - Mémoire Master TURP – 2008).....	45
Tableau 14 : Plan de la partie II (Réalisation : Manon THURET, 2012).....	45
Tableau 16 : Coûts des infrastructures au kilomètre (Source : Le coût des projets de transports en commun et des aménagements de voirie - http://developpement-durable.gouv.fr).....	46
Tableau 17 : Données de coûts des systèmes TCSP (Source : Certu).....	46
Tableau 18 : Coûts de divers projets de TCSP (Source : Cours Master TURP 2011-Egis Rail)	47
Tableau 19 : Capacité de différents systèmes (Source : Certu)	49
Tableau 20 : Vitesses commerciales moyennes (Source : Les TCSP en France-Rivoire Marion-Mémoire Master TURP, 2008)	50
Tableau 21 : Fréquentation du réseau de la STIB (Source : STIB)	52
Tableau 22 : Evolution de la fréquentation du TEOR	53
Tableau 23 : Evolution de la fréquentation du TVM	53
Tableau 24 : Niveaux de clientèle généralement atteints en France (Source : Le coût des projets de transports en commun et des aménagements de voirie (http://developpement-durable.gouv.fr)	53
Tableau 25 : Nombre moyen de passages en heure de pointe (Source : Les TCSP en France-Rivoire Marion-Master TURP, 2008)	54
Tableau 26 : Fréquence de divers réseaux (Source : Certu, 2009).....	54
Tableau 27 : Performances tramways et bus (Source : Certu, 2009).....	55
Tableau 28 : Seuils de régularité (Source : COST-BHNS, Octobre 2011)	55
Tableau 29 : Reports modaux (Source : COST-BHNS, Octobre 2011)	58
Tableau 30 : Plan de la partie III (Réalisation : Manon THURET, 2012).....	59
Tableau 31 : Ensemble des solutions envisageables dans le choix d'un TCSP (Réalisation : Manon THURET, 2012).....	69
Tableau 32 : Panorama des TCSP en France (Source : Certu, 2005)	88
Tableaux 33 : Comparaison des différents systèmes	92
Tableau 34 : Indicateurs de performance en fonction des différents types de systèmes (Réalisation : Manon THURET, 2012)	94

Table des annexes

1-	1 ^{ère} annexe : Les TCSP en France.....	88
2-	2 ^{ème} annexe : Tramways métriques	90
3-	3 ^{ème} annexe : Tramways en voie unique	91
4-	4 ^{ème} annexe : Comparaison des différents systèmes.....	92
5-	5 ^{ème} annexe : Matrice récapitulative des indicateurs	93

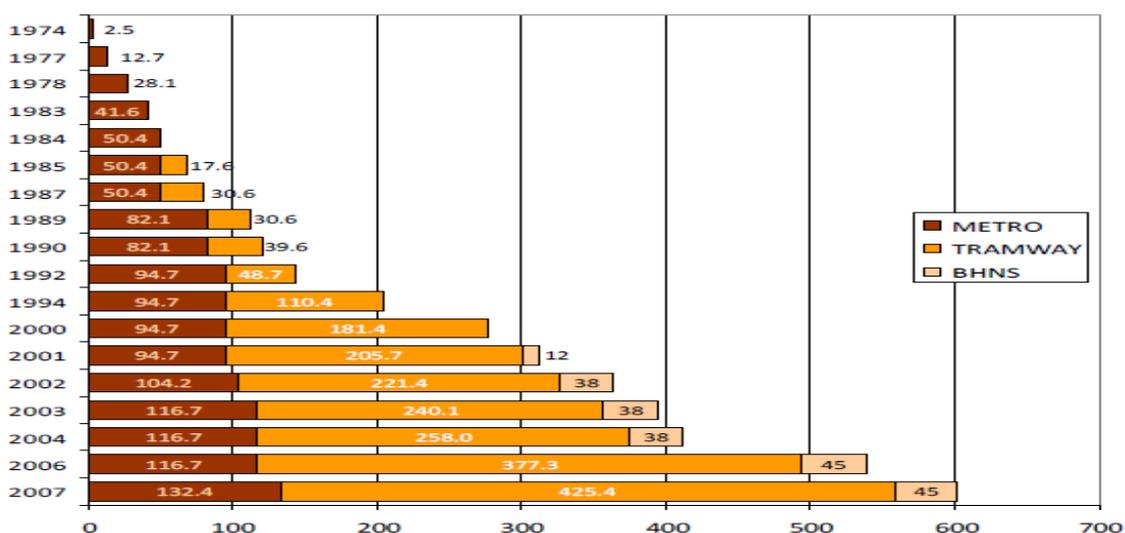
Annexes

1- 1^{ère} annexe : Les TCSP en France

Tableau 32 : Panorama des TCSP en France (Source : Certu, 2005)

Un panorama sur 22 agglomérations de plus de 250 000 habitants

		Métro	Tramway	BHNS	Bus classique
5 agglomérations avec un métro	Réseaux à métro				
	Lille	X	X		X
	Lyon	X	X	X	X
	Marseille	X	X		X
	Rennes	X			X
Toulouse	X		X	X	
11 agglomérations avec un tramway	Réseaux à tramway				
	Bordeaux		X		X
	Clermont-Ferrand		X		X
	Grenoble		X		X
	Montpellier		X		X
	Nantes		X	X	X
	Nice		X		X
	Orléans		X		X
	Rouen		X	X	X
	Saint-Etienne		X		X
	Strasbourg		X		X
Valenciennes		X		X	
1 agglomération avec un BHNS	Nancy			X	X
5 agglomérations avec un réseau bus classique	Réseaux à bus classique				
	Avignon				X
	Metz				X
	Toulon				X
	Tours				X
Lens				X	



Source : base de données Egis Rail

Figure uuu : Longueur cumulée des infrastructures depuis 1974 (Source : Egis Rail)

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

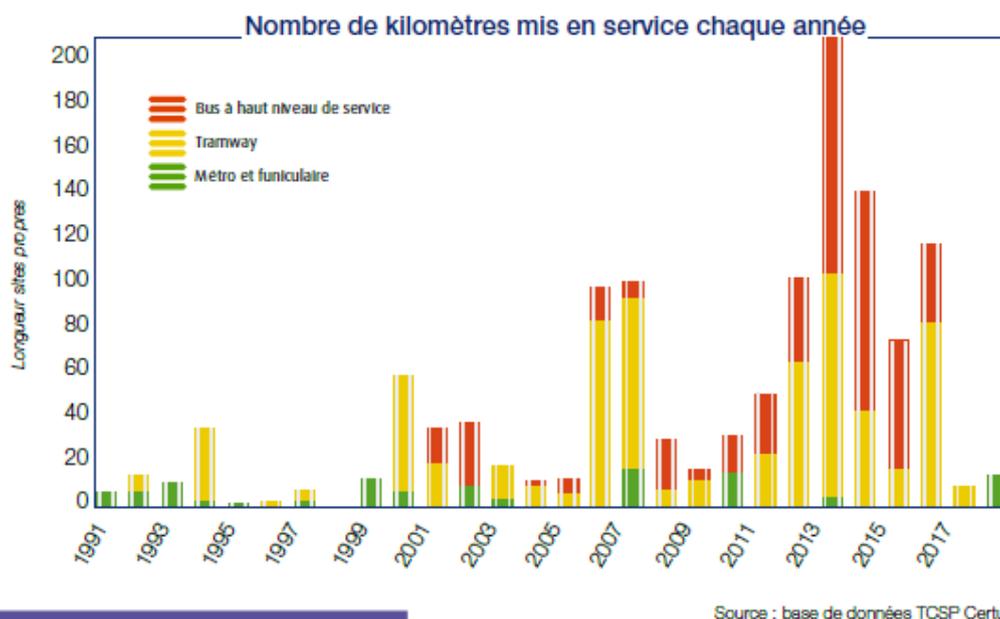


Figure vvv : Nombre de kilomètre mis en service chaque année (Source : Certu)

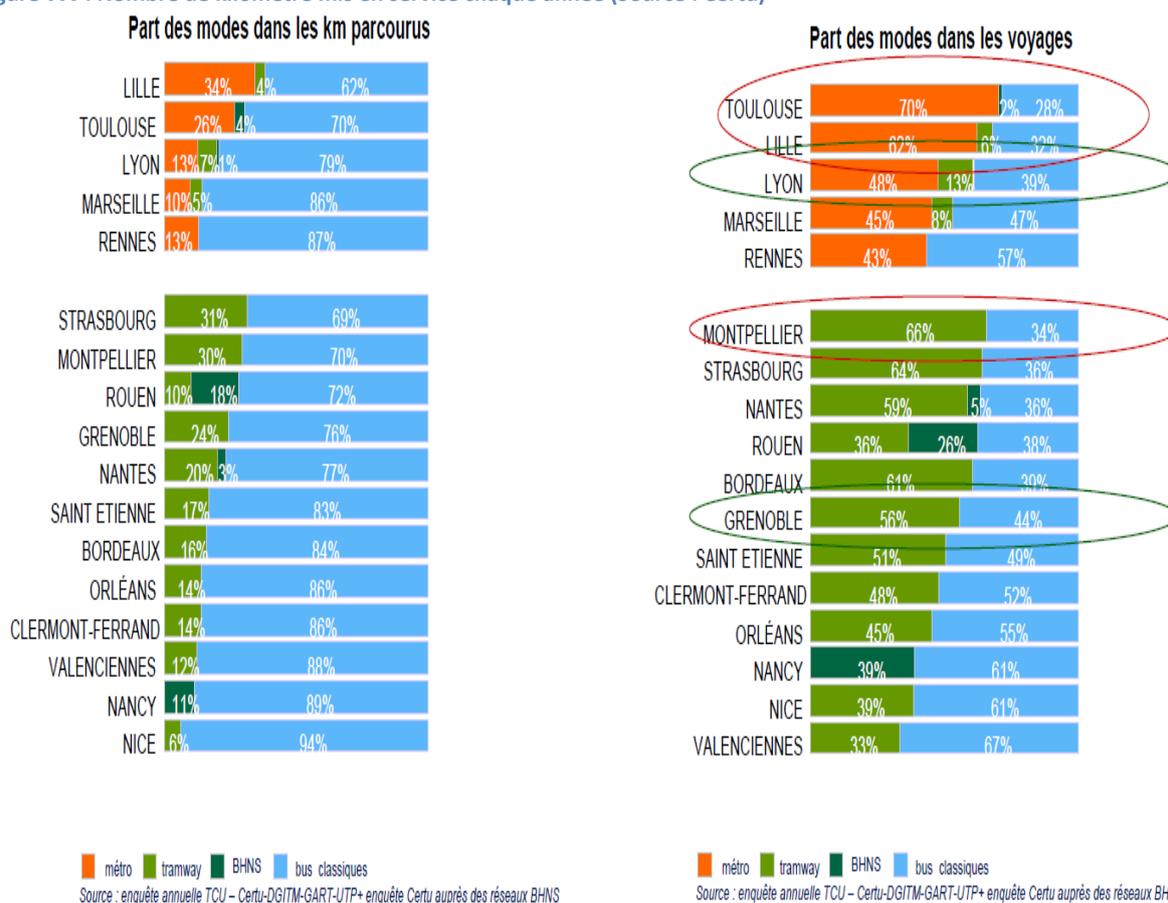


Figure www : Part des modes dans les kilomètres parcourus et les voyages (Source : Certu-GART-UTP)

L'offre bus classique reste majoritaire dans les kilomètres offerts mais les TCSP captent bien souvent une part plus importante des usagers.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

2- 2^{ème} annexe : Tramways métriques



Tramway métrique d'Anvers, Belgique



Tramway métrique de Gent, Belgique



Tramway métrique de Bâle, Suisse



Tramway métrique de Zurich, Suisse



Tramway métrique de Bilbao, Espagne



Tramway métrique de Lisbonne, Portugal



Tramway métrique de Sassari, Italie

3- 3^{ème} annexe : Tramways en voie unique



Tramway d'Anvers en voie unique, Belgique



Tramway de Freiburg en voie unique, Allemagne



Tramway de Blankenloch en voie unique, Allemagne



Tramway d'Amsterdam en voie unique, Pays-Bas

4- 4^{ème} annexe : Comparaison des différents systèmes

Tableaux 33 : Comparaison des différents systèmes

Comparaison des différents systèmes : caractéristiques générales et fonctions transport

Caractéristique	Systèmes non guidés		Systèmes guidés				
	Autobus standard ou articulé	Trolleybus standard ou articulé	Phileas	CIVIS	TVR	Translohr	Tramway
Fiabilité	forte	forte	incertaine	moyenne	moyenne	à démontrer	forte
Système de guidage	aucun	aucun	magnétique	optique	Rail central	Rail central	Rails
Longueur du véhicule	12 m ou 18 m	12 ou 18 m	18 ou 24 m	18,5 m	24,5 m	25 à 39 m	20 à 50 m
Largeur du véhicule	2,50 à 2,55 m	2,55 m	2,54 m	2,55 m	2,50 m	2,20 m	2,30 à 2,65 m
Charge max à l'essieu en charge normale	13 t	-	10,4 t	13 t	11,7 t	7,2 t	9 t
Type de traction	Thermique	Bi-mode electr. thermique	Hybride	Thermique ou électrique	Bi-mode electr. (750V)-thermique	Electr. 750 V	Electr. 750 V
Vitesse maximale	65 – 90 km/h	80 km/h	80 km/h	80 km/h	70 km/h - 55 km/h en guidé	70 km/h	70 km/h
Plancher bas	Oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Nombre total de places (4p/m ²)	80 ou 110	70 ou 110	90 ou 120	110	150	120 à 200	100 à 350
Gamme de trafic correspondante (en voyageurs / sens / heure) 4 p/m ² , intervalle de 2 minutes	< 3 300*	< 3 300	< 3 600	< 3 300	< 4 500	< 6 000	< 9 000
Gamme de trafic avec 6 p/m ² , intervalle de 2 minutes	< 4 500*	< 4 500	< 4 800	< 4 500	< 6 000	< 8 000	< 13 000

Comparaison des différents systèmes : Tracé, insertion, coûts

Caractéristique Infrastructures	Systèmes non guidés		Systèmes guidés				
	Autobus standard ou articulé	Trolleybus standard ou articulé	Phileas	CIVIS	TVR	Translohr	Tramway
Véhicule Monotrace	non	non	oui	Non	oui en guidé	oui	oui
Bidirectionnel (sans boucle de retournement)	non	non	non	Non	Non	oui	oui
Emprise en section courante	6,50 à 7,50m	6,50 à 7,50 m	6,5 à 7 m	6,7 à 7,3 m	6,20 m	5,40 m	5,60 à 6,30 m
Emprise en courbe de 25 m	> 9 m	> 9 m	> 8 m	> 9 m	6,8 m guidé, > 9 m sinon	6,1 m	6,9 à 7,7 m
Rayon minimum en tracé	11 à 12 m	11 à 12 m	12 m	12 m en non guidé 25 m en guidé	12 m	10,5 m	25 m
Pente maximum	13 %	13 %	12 %	13 %	13 %	13 %	6-8 %
Choix de revêtement	Très limité	Très limité	limité	limité	assez limité	assez limité	bon
Coûts*							
Investissement total moyen au km	2 à 5 M€ (7 à 18 M R\$)	3 à 6 M€ (10 à 21 M R\$)	Non connu	~ 3 à 6 M€ (10 à 21 M R\$)	12 M€ (43 M R\$)	12 à 15 M€ (43 à 54 M R\$)	15 M€ (54 M R\$)
Prix d'un véhicule	0,2 à 0,3 M€ (0,7 à 1 M R\$)	0,5 à 0,8 M€ (1,8 à 2,8 M R\$)	1,1 à 1,3 M€ (3,6 à 4,6 M R\$)	0,8 à 1 M€ (2,8 à 3,6 M R\$)	1,9 M€ (6,8 M R\$)	2,35 M€ (STE4) (8,5 M R\$)	1,7 à 2,5 M€ (6,1 à 9 M R\$)
Prix d'un véhicule ramené à la place	2 700 € (9 700 R\$)	7 000 € (25 000 R\$)	10 000 € (36 000 R\$)	9 000 € (32 000 R\$)	12 500 € (45 000 R\$)	14 500 € (52 000 R\$)	9000 € (32 000 R\$)
Coût d'exploitation au km parcouru	2 à 3 € (7,2 à 10,5 R\$)	2,4 à 3,5 € (8,5 à 12,5 R\$)	Non connu	3 à 4,5 € (10,5 à 16 R\$)	~ 6 € (21 R\$)	Non connu	~ 6 € (21 R\$)

Caractéristique	Systèmes non guidés		Systèmes guidés				
	Autobus standard ou articulé	Trolleybus standard ou articulé	Phileas	CIVIS	TVR	Translohr	Tramway
Emissions de gaz polluants	+	+++	+	+	++	+++	+++
Aspect innovant	+	++	+++	+++	+++	++++	++++
Plancher bas, accessibilité au quai	++	++	+++	+++	+++	+++	+++
Possibilité de design, relookage	++	++	++	++	+++	++++	++++
Choix des aménagements et revêtement	+	+	+	+	++	++	+++

5- 5^{ème} annexe : Matrice récapitulative des indicateurs

Afin de s'assurer au maximum de la comparabilité des données, cette matrice présente des résultats ayant, dans la mesure du possible, les mêmes sources de données par indicateur. Les chiffres exposés correspondent à ceux vus dans la partie II (parfois également dans la partie I) et qui se sont révélés pertinents, ou bien de calculs (cf renvois dans la matrice) ou d'une bibliographie supplémentaire (Sytral, *Evaluation socio-économique du prolongement de la ligne de tramway T4 de Lyon-Dossier d'enquête préalable à la DUP*; Communauté d'agglomération d'Antibes-Sophia Antipolis (mai 2012), *Bus-Tramway Antibes-Programme d'aménagement-Etude socio-économique*; Agglomération bordelaise, *3^{ème} phase du tramway de l'agglomération bordelaise-Evaluation socio-économique*, pièce n°7). Seules les cases blanches n'ont pas pu être remplies, par manque de données. Les cases grises sont considérées comme non pertinentes.

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

Tableau 34 : Indicateurs de performance en fonction des différents types de systèmes (Réalisation : Manon THURET, 2012)

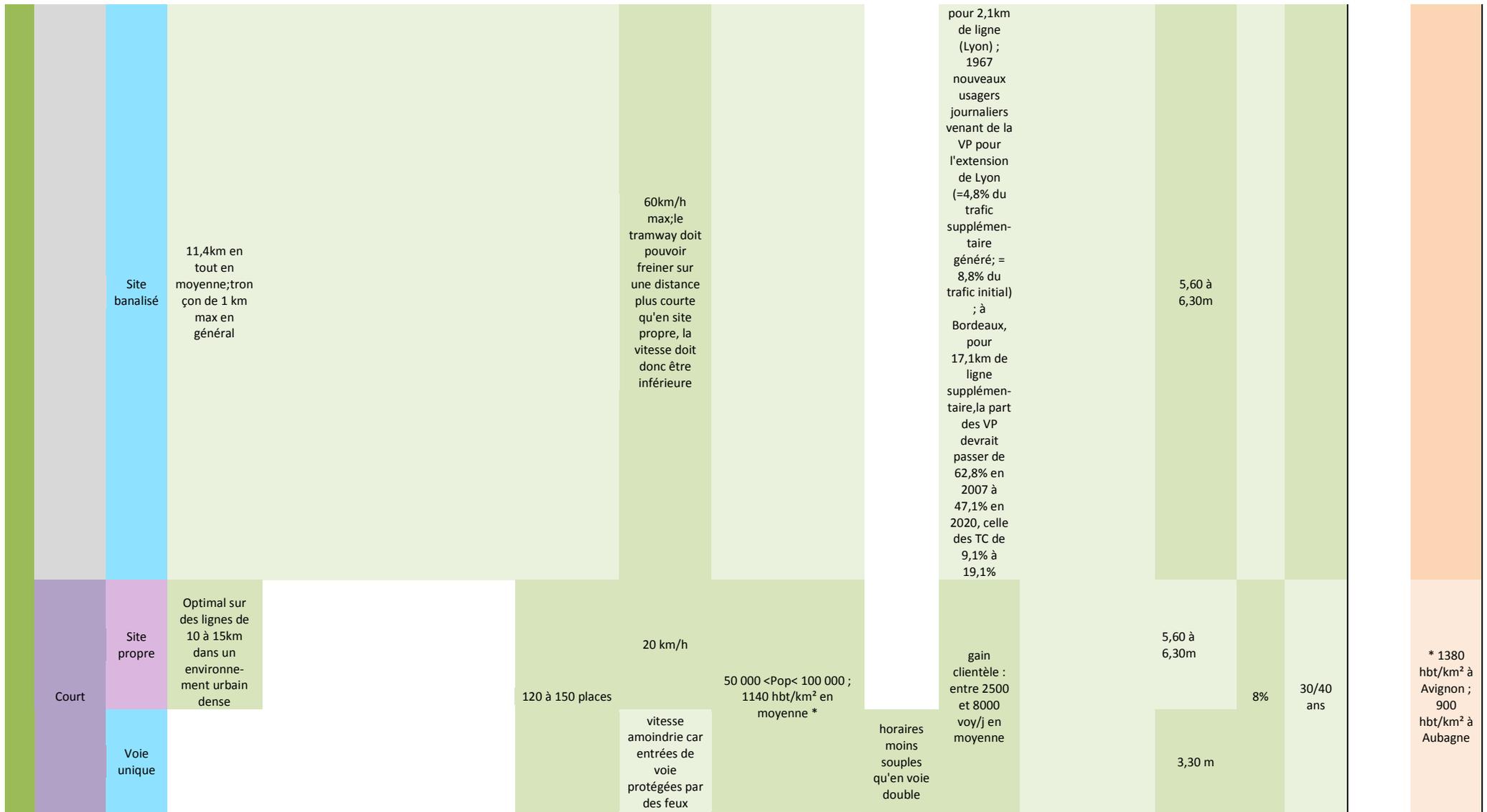
Matériel roulant	Aménagement	Indicateurs de performance											Renvois		
		Longueur des lignes	Coûts moyens	Voyages par km	Capacité	Vitesse commerciale	Rapport population/mode/fréquentation	Fréquence	Report modal / Gain clientèle	Développement durable	Emprise en section courante	Pente max		Durée de vie	
TRAMWAY	Métrique	Site propre	Optimal sur des lignes de 10 à 15km dans un environnement urbain dense	Prix d'achat:1,5à3M€;Coût d'invest:13à25M€/km; Coût d'exploitation : 5à10€/km			20,2km/h en moyenne ; 18 à 25km/h en moyenne ; 70km/h max					5,50 m			* 2150 hbt/km² à St-étienne ; 2300 hbt/km² à Anvers (Belgique) ; 3900 hbt/km² à Zurich ; 8500 hbt/km² à Bilbao (Espagne) ; 6200 hbt/km² à Lisbonne (Portugal)
		Voie unique	400 m en voie unique			70km/h max;vitesse amoindrie car entrées de voie protégées par des feux	Pop>250 000hbt ; 4610 hbt/km² en moyenne *	horaires moins souples qu'en voie double	gain clientèle : entre 2500 et 8000 voy/j en moyenne			8%	30/40 ans		
		Site banalisé	tronçon de 1 km max en général	Prix d'achat:1,5 à 3M€		60km/h max;le tramway doit pouvoir freiner sur une distance plus courte qu'en site propre, la vitesse doit donc être inférieure			11g CO²/passager/km ; 3g/voy.km ; gain CO²:entre 0 et 7200t eqCO²/an		5,50 m				
	TFS	Site propre	Optimal sur des lignes de 10 à 15km dans un environnement urbain dense;11,4 km en tout en moyenne	Prix d'achat:1,5à3M€;Coût d'invest:13à25M€/km; Coût d'exploitation:5à10€/km		178 places ; 5600 voy/h/sens max	20,2 km/h en moyenne ; 18 à 25 km/h en moyenne ; 70km/h max		5 min	gain clientèle : entre 2500 et 8000 voy/j en moyenne ; report modal de 2500		5,60 à 6,30m	6%	30/40 ans	

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

	Voie unique	11,4 km en tout en moyenne, 400m en VU					70km/h max; vitesse amoindrie car entrées de voie protégées par des feux	Pop>250 000hbt ; trafic/capacité :9000 voyageurs/sens/h; Niveau de clientèle généralement atteint en France:30 000 à 110 000 voy/jr ; 5300 hbt/km ² en moyenne *	5 min en pointe ; horaires moins souples qu'en voie double	voyages quotidiens pour 1,9km de ligne (Strasbourg) ; report modal de 2570 voyages/j pour 2,1km de ligne (Lyon) ; à Grenoble l'usage de la VP est passé de 54% en 1992 à 47% en 2008 suite à des extensions de lignes	3,30 m		
	Site banalisé	11,4 km en tout en moyenne ; tronçon de 1km max en général	Prix d'achat:1,5 à 3M€	environ 5840 voy/km	178 places		60km/h max; le tramway doit pouvoir freiner sur une distance plus courte qu'en site propre, la vitesse doit donc être inférieure				5,60 à 6,30m		
Sur fer classique	Site propre	Optimal sur des lignes de 10 à 15km dans un environnement urbain dense; 11,4 km en tout en moyenne	Prix d'achat:1,5 à 3M€; Coût d'invest:13 à 25M€/km; Coût d'exploitation:5 à 10€/km	Ratio voy/km offerts:10,66 ; environ 5840 voy/km	100 à 350 places ; 5600 voy/h/sens max		20,2 km/h en moyenne; 18 à 25 km/h en moyenne; 70km/h max	Pop>250 000hbt; trafic/capacité:9000 voyageurs/sens/h ; 4400 hbt/km ² en moyenne *	5min; 3,5 min en HP; 7min en HC	gain clientèle : entre 2500 et 8000 voy/j en moyenne ; report modal de 2500 voyages quotidiens pour 1,9km de ligne (Strasbourg) ; report modal de 2570 voyages/j	5,60 à 6,30m	6-8%	30/40 ans
	Voie unique	11,4km en tout en moyenne, 400m en VU	Prix d'achat:1,5 à 3M€		100 à 350 places		70km/h max; vitesse amoindrie car entrées de voie protégées par des feux		5 min en pointe ; horaires moins souples qu'en voie double		3,30 m		

* 4800 hbt/km² à Bordeaux ; 4500 hbt/km² à Montpellier ; 4700 hbt/km² à Nice ; 3500 hbt/km² à Strasbourg

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?



* 1380 hbt/km² à Avignon ; 900 hbt/km² à Aubagne

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

	Site banalisé	tronçon de 1 km max en général				15 à 17 km/h; le tramway doit pouvoir freiner sur une distance plus courte qu'en site propre, la vitesse doit donc être inférieure				5,60 à 6,30m		
	Site propre	Optimal sur des lignes de 10 à 15km dans un environnement urbain dense	Prix d'achat:2,2M€;Coût d'invest:16M€/km			125-135 places ; 2500 voy/h/sens max	20 km/h			5,50 m		
Eco-tramway	Voie unique					vitesse amoindrie car entrées de voie protégées par des feux	50 000 < Pop < 100 000;6000 voyageurs/h/2sens ; 1800 hbt/km² à Besançon	horaires moins souples qu'en voie double	gain clientèle : entre 2500 et 8000 voy/j en moyenne		8%	30/40 ans
	Site banalisé	tronçon de 1 km max en général	Prix d'achat:2,2M€			125-135 places	le tramway doit pouvoir freiner sur une distance plus courte qu'en site propre, la vitesse doit donc être inférieure			5,50 m		
Sur pneu	Site propre	13,6 km en tout en moyenne ; 8,3km à Nancy	Prix d'achat:1,5à3M€;Coût d'invest:12 à 15M€/km; Coût d'expl>=tramway fer	environ 3300 voy/km	120 à 200 places ; 3500 voy/h/sens max	15 km/h (pour 20km/h annoncé en phase projet);70km/h max	trafic/capacité:4500 à 6000 voyageurs/sens/h;Niveau de clientèles généralement atteint en France:30 000 à 35 000 voy/jr ; 4800 hbt/km² en moyenne *	4 à 10 min	gain clientèle : entre 2500 et 8000 voy/j en moyenne	5,40 à 6,20m	13%	30 ans théoriquement , 14 ans pour celui de Caen

* 4200 hbt/km² à Caen ; 7000 hbt/km² à Nancy ; 3200 hbt/km² à Clermont-Ferrand

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?

		Site banalisé	13,6 km en tout en moyenne ; 2,7km à Nancy	Prix d'achat:1,5 à 3M€	120 à 200 places	60km/h max;le tramway doit pouvoir freiner sur une distance plus courte qu'en site propre, la vitesse doit donc être inférieure								
BUS	BHNS	Site propre	7,5 km en moyenne *	Prix d'achat:0,3 à 0,9M€;Coût d'invest:4à10M€/km ; Coût d'exploitation:3,5à5€/km		21 km/h, peut être > 35 km/h		2min30 mini;3,5-6 min en HP;8-12min en HC	gain clientèle : entre 1500 et 3000 voy/j en moyenne ; report modal (tous modes confondus hors TC) de 10302 voy/j pour 9,5km de ligne à Antibes (=41% du trafic total attendu) ; report modal VP/TC de 13% en moyenne	300g CO ² /passager/km;84 g/voy.km; Certains (BusWay de Nantes par ex.) émettent peu de pollution et de bruit ; gain CO ² :entre 0 et 3500t eqCO ² /an	7,50m	15/25 ans	*** 4300 hbt/km ² à Nantes ; 3700 hbt/km ² à Toulouse ; 7000 hbt/km ² à Nancy ** 780m à Annemasse ; 4,5km à Antibes ; 2,5km à Cannes ; 2,2km à Lorient ; 2km à Metz ; 4,8km à Nancy	
		Site banalisé	2,8 km en moyenne **	Prix d'achat:0,3 à 0,9M€;Coût d'exploitation:3,5 à 5€/km										
					Ratio voy/km offerts:5,67 ; 3000 voy/km	90 à 120 personnes ;3000 voyageurs/h/se ns max	100 000 <Pop< 250 000 ; 15 000 à 65 000 voyageurs/j;13M passagers/an; 4500 voyageurs/h/2 sens ; 5000 hbt/km ² en moyenne ***							

Quel TCSP « nouvelle génération » pour les villes moyennes ?